太陽系的狂亂青春 p.52 | 哺乳類地球當家 p.68 | 橙劑迷霧 籠罩越南 p.78

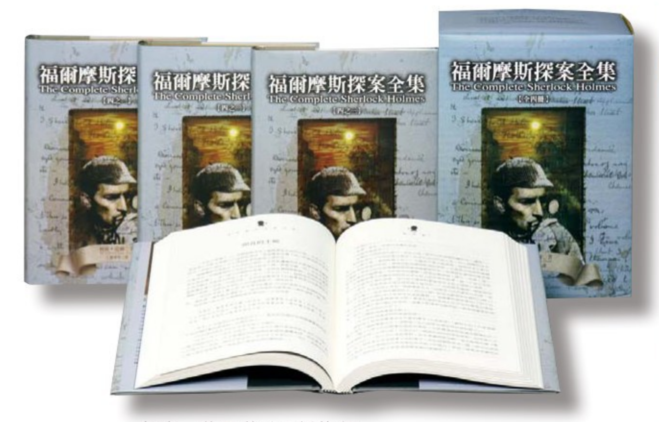




・培養想像力與跨界力

【不朽傳家經典】一套＝2,699元(總價值 4,400元)

◎續訂戶加贈一期



柯南・道爾 著 / 丁鍾華 譯
25開精裝(附書盒) / 全4冊 / 定價1,400元

孩子的第一套推理小說

福爾摩斯探案全集

我們初識福爾摩斯這位神探，多半藉由童年時期閱讀的注音符號少年讀本。數十年來，福爾摩斯熱從未在台灣退燒，一波波不同的版本陸續上市，為名偵探打出更響亮的名號，也聚集了無以倫比的超人氣。然而，在目前國內坊間眾多琳琅滿目的版本中，唯一曾得獎的譯作，即是遠流出版的這套《福爾摩斯探案全集》。此版本榮獲大陸第一屆「全國優秀外國文學圖書獎」，這項殊榮無疑是為此套譯作的可讀性背書，也同時保證其內容紮紮實實、同樣是教人百看不厭的福爾摩斯探案小說。

描繪人生靈魂的雋永童話

安徒生故事全集

安徒生童話美麗又平易近人，好比是一條奔流的小溪，穿越名著百嶽，匯入人類精神及浩瀚文明底。目前展開在你面前的是一部當今世上最好、最齊全的中文譯本─《安徒生故事全集》，收錄了安徒生166篇童話（除了收錄全世界號稱最權威，最完整版本的164篇故事外，另收有兩篇譯者親自由安徒生的信件及手稿中發現的其他故事。），充分展現出丹麥文原著裡的濃厚詩情、豐富內涵、盎然生命、以及如詩般可朗讀的文字。不僅孩子們讀來受益非凡，大人們更可從中獲得不少甕藏啟示，是全人類有聲無聲的不朽共鳴。



安徒生 著 / 葉君健 譯
25開精裝(附書盒) / 全4冊 / 定價1,400元

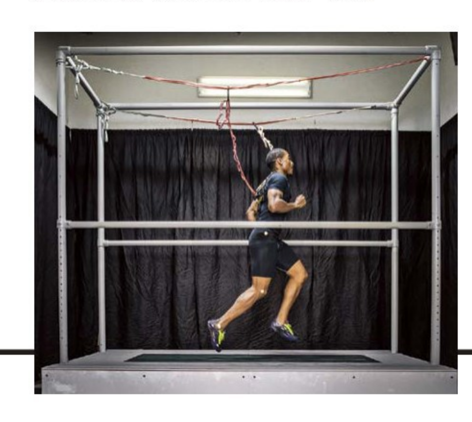
SCIENTIFIC AMERICAN 科學人雜誌
No.174 2016年8月號

認知科學
42 打打電玩 強健大腦
文／巴佛利爾（Daphne Bavelier）、
格林（C. Shawn Green）
射擊殭屍、殲滅魔怪……這些打打殺殺的動作類型電玩，竟然能夠提升認知功能！科學家分析並參考市面上娛樂電玩的遊戲設計，致力開發適合認知功能障礙患者的醫療用電玩。

認知科學
48 打電動的大腦不會變老？
文／李如蕙、張智宏
要活就要動，不只身體，腦筋也要常「活動」，打電動對於認知功能的影響是近來熱門話題，甚至有延緩大腦老化一說，到底認知神經科學家怎麼看這些電玩遊戲的效益？

天文學
52 太陽系的狂亂青春
文／貝提金（Konstantin Batygin）、
勞夫林（Gregory Laughlin）、
莫爾比代利（Alessandro Morbidelli）
天文學家從系外行星獲得啟發，太陽系誕生過程可能更戲劇化，包括四處流浪的行星，以及毫不留情的撞擊與毀滅。

特別報導
62 科學加速飛毛腿
文／馬隆（Dina Fine Maron）
科學家對短跑生物力學有了新見解，有助於短跑選手在奧運賽事更上一層樓。



關於封面

沉迷電玩不是好事，但近年的研究發現，喜歡玩動作遊戲的玩家，在視覺、想像物體翻轉後的模樣以及多工轉換方面都有更好的表現。科學家目前正與電玩設計師合作，打造名實相符的腦力開發遊戲，可望用於臨床治療。



CONTENTS







演 化

68 **恐龍遭殃 哺乳類當家**

文／瑞格諾德（John P. Reganold）、葛拉佛（Jerry D. Glover）

近年發現的化石證據，逐步重建我們這些哺乳動物的演化史。原來早在小行星造成恐龍滅絕以前，哺乳類祖先就開始為後進之輩的崛起乃至最終成為地球當家奠定了基礎。

健 康

78 **橙劑迷霧 籠罩越南**

文／施密特（Charles Schmidt）

越南政府堅信，美軍在越戰時噴灑臭名昭彰的落葉劑「橙劑」，至今持續危害越南人民的健康，並導致許多新生兒先天缺陷，然而科學界則仍未有定論。

生物力學

84 **一推一拉間，水母輕鬆游**

文／費雪曼（Josh Fischman）

水母巧妙運用物理學，成為在海洋中最有效率的游泳健將。

動物行為

86 **大智若魚**

文／鮑爾科姆（Jonathan Balcombe）

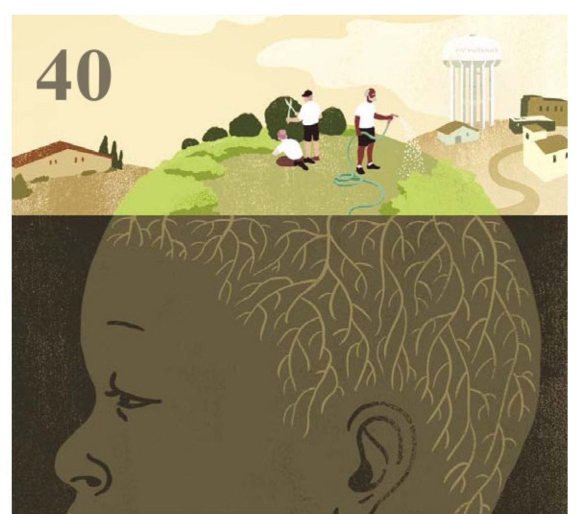
子非魚，安知魚之笨？魚類一直被認為是各種脊椎動物之中的「愚」者，但魚類中其實也不乏具有學習能力、懂得使用工具，甚至精益求精之輩！



SCIENTIFIC AMERICAN 科學人雜誌 No.174 2016年8月號

CONTENTS







科學人觀點

6 會記、會忘、會算、會賭：草木有知？ 文／曾志朗

總編輯的話

8 牙齒說故事 文／李家維

25 讀者論壇

26 科學人新聞

太空望遠鏡遮陽篷｜發掘古籍中的太陽記事｜
茲卡病毒源遠流長！｜病態的好奇心｜實驗鼠太乾淨啦！｜
城市飛蛾不撲火｜表皮細胞化身彩色條碼｜
選擇防曬劑，膚淺很重要｜航向行星之王｜
一覽世界科技進展｜未來核能水中尋

形上集

35 日本21，南韓0 文／高涌泉

網路不打烊

36 怎能缺了語料庫？ 文／陳穎青

不可勝數

38 台灣教科書的華麗與荒涼 文／翁秉仁

健康與科學

40 鉛污染有多危險？ 文／雪爾（Ellen Ruppel Shell）

專家看新聞

90 重返月球很重要 文／尼爾（Clive R. Neal）

資訊世界

91 物聯網「聽」指令 文／波哥（David Pogue）

真真假假

92 山羊奶剋愛滋？ 文／薛莫（Michael Shermer）

反重力思考

93 動物智商知多少 文／米爾斯基（Steve Mirsky）

聊聊科學人

94 追隨兩爬足跡——踏上游崇瑋的生態旅程 文／湯琇婷

生物手記

98 愛蕨人慧眼揭身世——碧鳳鐵角蕨 文／郭立園

我的Lab生活

100 探尋身心疾病之鑰 文／孫慶芳

科學人書摘

104 柏拉圖的天空 文／摘自《愛因斯坦的辦公室給了誰？》

圖表會說話

108 世界一家的菜單 文／菲謝蒂（Mark Fischetti）

科學人雜誌 第174期 2016年8月號

sa.ylib.com

學術顧問（按姓名筆劃）
孔祥重 王士元 丘成桐 吳成文 吳茂昆 李政道
李遠哲（召集人） 翁啟惠 楊祖佑 鄭天佐

發行人 王榮文
榮譽社長 曾志朗
總編輯 李家維
副總經理 林彥傑

編譯委員會（按姓名筆劃）
王秋桂 王道還 翁秉仁 高涌泉（召集人） 陳企寧
陳義裕 黃榮棋 葉李華 潘震澤 儲三陽

編輯部
副總編輯 張孟媛
副主編 洪志良
資深採訪編輯 呂怡貞
採訪編輯 湯琇婷
特約編輯 翁千婷 陳品妤
特約撰述 龐中培
資深美術編輯 郭倖惠
封面設計 唐壽南
美術顧問 霍榮齡

行銷企劃部
主任 許雙珠
整合行銷專案經理 朱淑玲

廣告專線：(02)2392-6899轉823
傳真：(02)2393-2230

遠流出版事業股份有限公司
www.ylib.com

董事長 王榮文
總經理 李傳理
副總經理 王麗雪
行銷業務部協理 陳希林
印務 廖士鋒 劉曉玲
版權 王佳慧
著作權顧問 蕭雄淋

製版印刷 科樂印刷事業股份有限公司
裝訂 連誠裝訂公司

發行所 遠流出版事業股份有限公司
100 台北市南昌路二段81號6樓
電話：(02) 2392-6899 傳真：(02) 2392-6658
電郵：service@sa.ylib.com

香港地區零售代理 Rich Publishing & Distribution Ltd.
電話：852-2172-6533
香港地區訂戶代理 Magazines International
電話：852-3628-6000







零售總代理
聯華書報社 電話：(02) 2556-9711，2559-6306
零售每本NT280元

校園學生代理
玉龍創意行銷股份有限公司
電話：(02) 2736-8218

直銷代理
漢麟文化企業有限公司 電話：(04) 2327-1366

長期訂閱
●國內訂閱一年12期（加贈2期）
新訂NT2680元 續訂NT2480元
（若需掛號每年另加NT240元）
●海外訂閱一年12期（加贈3期）
港澳中國 水陸NT3700元（US$120）
航空NT4100元（US$135）
其他地區 航空NT4900元（US$160）
（若需掛號每年另加NT975元 / US$30）

台灣郵政台北誌第256號
執照登記為雜誌交寄
ISSN：1682-2811

Cover llustration by Jude Buffum



SCIENTIFIC AMERICAN
Established 1845

《科學人》徵求寫作提案



我的Lab生活

你是長期關在實驗室、不見天日的白老鼠？喔，不！我們說的是研究生。你是不知何時才能到達終點、持續跑著程式的博士後研究員？

Lab生活有著不為外人所知的酸甜苦辣：探索真理的辯證、實驗成敗的關鍵轉折、心智加肉體的鍛鍊與煎熬……即刻起，快到《科學人》雜誌公開你的Lab生活！

徵稿對象：

大學、研究所或研究機構的研究生與博士後研究員。

寫作提案與工作方式：

請以最清晰易懂的中文，分項說明：

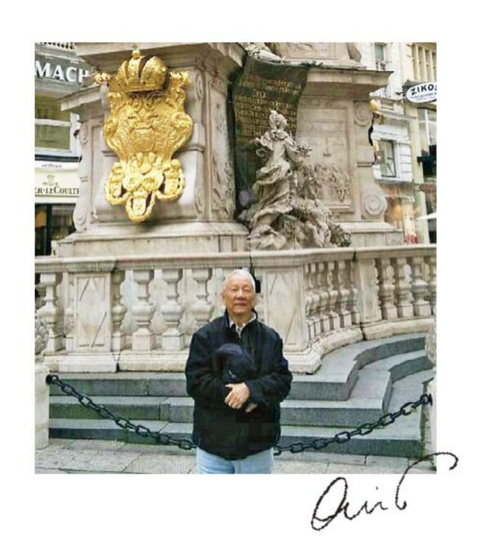
1. 自己科學研究主題的特色
2. 實驗室成員互動特殊之處
3. 科學研究之於你的意義

以「我的Lab生活」為主旨，e-mail至editors@sa.ylib.com，並註明所屬學校或研究機構系所、聯絡方式。《科學人》雜誌編輯團隊會與你聯絡，共同完成「我的Lab生活」寫作。

完成作品並刊出於《科學人》者，可得到該期雜誌10本。

會記、會忘、會算、會賭：草木有知？

特定的機制只能解決特定的問題，不會有類化的表現，更沒有觸類旁通的可能性，離知「知」為智的境界，還有很大很大的距離。



《古文觀止》有一篇〈秋聲賦〉，描繪歐陽修秋夜讀書，聽到屋外傳來奔騰澎湃的異聲，令他悚然驚心，初似驟然而到的風雨，又像鉗馬銜枚趕赴戰場的軍隊，於是遣書僮出去查看，發現四下無人，聲音來自林間，而原來是秋天肅殺之勢。他深感草木沒有情感，風吹有聲，葉落無痕，時間一到就自然衰敗凋零，何況是血肉之軀的人，如何能和四季循環不息的草木爭榮？所以為文寫出：「嗟乎，草木無情，有時飄零。人為動物，惟物之靈。百憂感其心，萬事勞其形。有動于中，必搖其精。而況思其力之所不及，憂其智之所不能。」幾句話道盡歐陽修因憂國憂民憂天下而形銷心苦。

每次我讀到這篇〈秋聲賦〉，除了感佩歐陽修的文思妙句之外，對文中所寫的「草木無情」，一直有不同的想法。做為一位研究認知神經科學的心理學家，對草木無法和護養者的心境相通，當然是認同的，因為情生於知，若草木無知，當然不會有情。但問世間，何謂情？探事理，何謂智？莊子說：「子非魚，安知魚之樂？」現代科學家也可說：「子非草木，安知草木之無情、草木之無知？」知「知」為智，若草木真的無知，對周遭環境變化無感，沒有反應，自然無情，更不可能有共鳴之智啊！

這樣的結論應該是錯的。但這並非一片胡言，而是最近科學家對某些植物的研究結果，指出這些植物在特定的實驗安排下，顯現出會記，會忘，會算，也會賭。那我們怎能說它們是「無知」之物呢？

逗弄含羞草，大概是所有人的童年回憶。小時候，我在台灣南部的山鎮裡念小學，學校後面有座山丘，就是美麗的鼓山公園。園裡長滿了濃密的相思樹，樹上鳥雀群聚，嘰嘰喳喳，吵個不停，我們鄉下小孩習慣在公園裡跑來跑去，到處探險，每一次走近樹林時，才掏出口袋裡的木製彈弓，尚未出手，就見眾鳥齊飛，只剩空枝晃蕩！是誰通風報信？現在想想，可能是我們快步行走，又瞬間停止不動，腳步在草上擦撞的聲音變化，成為自然界的警訊，把鳥兒都嚇跑了。草木傳訊，鳥能避險，是「知」乎？

鳥飛了，彈弓收了，我們看到樹下一排含羞草，就忍不住蹲下來伸手輕碰細枝上兩兩相對而生的小樹葉，整排葉子果然含羞脈脈，閉合下垂。我們等了五、六分鐘，枝立葉又開了；再碰，它又含羞縮葉，低頭藏身；再等了好些分鐘，見它伸枝張葉，又是好漢一條；就再碰一次，它含羞如舊。幾次之後，我們都累了，它不累嗎？想再瞧瞧，它何時才會精疲力盡，一閉合就起不來了呢？無奈下午上課的鐘響，只有回到教室，心裡惦記著那一欉含羞草，不知道它是否知道，我們只是逗它，並沒有要傷害它的意圖？

離開鄉下小學一甲子之後，我很開心的讀到一篇義大利佛羅倫斯大學植物學家的實驗報告，結論是含羞草會「記住」沒有侵犯後果的碰觸，在經歷多次無害的碰觸之後，它就不再垂枝縮葉，而是坦然面對，不以為意了。而且研究者在進一步的實驗中，還發現含羞草學會了對這個「不為害就不必去管它」的記憶，一個月後測試，仍然存在。當然，也有別的研究者認為這結果顯示含羞草學會了去「忘記」那個無害的刺激物，因為記憶比忘記更需要能量。節省能量的消

影像來源：曾志朗



將同一株豌豆的根，分種在土壤養份供應穩定和變化差異極大的兩個盆子中，是否因此而有不同的繁殖命運？

耗，對演化的進展是很有助益的。看來含羞草會學，會記，會學會忘記，那它有「知」嗎？

再來看看捕蠅草的例子，它也是一種多年生草本植物，葉片邊緣長有規則狀的刺毛，一旦有昆蟲掉到刺毛上，葉片就會合起來，然後分泌消化液，將其分解，變成一餐美食。問題是，萬一掉下來的不是昆蟲，而是小石頭或細樹枝，那捕蠅草如何得知？德國烏茲堡大學（Wuerzburg University）的植物學家，給了很有趣的答案：捕蠅草演化出一套很好的策略，它會「感知」掉下來的東西會不會蠕動，然後「計算」刺毛感覺到蠕動刺激的次數，要超過兩、三次以上，葉片才會閉合，這是第一回合。第二回合更高段，就是依照蠕動次數，決定放出多少消化液，來分解大小不一的昆蟲。大昆蟲，強有力，從夾葉中脫困的蠕動次數就會增加，小小昆蟲，很快被夾住，掙扎一、兩下便動彈不得，只要發出少量的消化酵素，就可以讓牠超生了；蠕動次數和消化液增加量成正比。看到這樣有規則向上提升的函數曲線，捕蠅草有「類計算」的表現，那它有「知」嗎？

含羞草與捕蠅草，皆草木也，前者能學能記也能忘，後者更能算。還有嗎？當然！讓我們大開眼界，到以色列的特爾海學院（Tel-Hai College），去看那批會「賭」一把的豌豆吧！

實驗一開始，以色列的植物生態學家和英國牛津大學的合作研究者先確定一件事，即豌豆種在塑膠盒狀的盆子裡，如果盆裡的土壤營養量越高，則豌豆往下伸入泥土的根就越壯也越多。這點確定了，就可以做為後續一系列實驗的基準點，比較土壤的營養分配對豌豆傳宗接代的影響。研究者首先把同一株豌豆的根分為兩部份，分種在兩個裝有不等量養份土壤的盆中，觀察它們是否會有不同的繁殖命運：在營養豐富的土壤，根生數根，多子多孫；在營養不良的土壤裡，則根生少量，子孫單薄！

接下來的實驗操弄更為有趣，實驗者把同一株豌豆的根，一部份種在養份供給量非常穩定的土壤裡，另一部份種在養份供給不穩定（有時很多，有時又很少）的土壤裡；但兩盆土壤的平均養份是一樣的。你認為哪一盆會長出比較多的根呢？

根據近代決策理論的推測，一般人在「歹年冬」（平均養份不足）或資金不足時，會選擇不穩定的投資率，去狂賭一把！那豌豆呢？實驗的結果顯示，豌豆會在養份供給不穩定的土壤裡，長出更多的新根，完全是「賭一把」的豪賭行為。那麼看這豌豆傳宗接代的策略，是「知」的表現嗎？

含羞草、捕蠅草和豌豆，都是沒有腦神經的草本植物，它們雖無腦，卻會學，會記，會忘，也會算，更會賭！歐陽修可以說「草木無情」，但從演化的觀點，科學家卻需要仔細考量「知」的定義為何，才能下草木「有知」或「無知」的結論。這些植物各有一套由演化得來的機制，去解決生存的難題，但那特定的機制只能解決特定的問題，不會有類化的表現，更沒有觸類旁通的可能性，離知「知」為智的境界，還有很大很大的距離。想而可「知」，較孔子所言「學而不思則罔，思而不學則怠」的智慧，那絕對是遙不可及的了。

曾志朗

HAGAI SHEMESH

牙齒說故事

書房裡吊了具薄片龍化石複製標本，身長八公尺，頭小、脖子長，屬於爬行動物蛇頸龍類群，因腰帶的骨骼呈薄片狀而得名。牠是我心愛的玩具，活在7000萬年前，用四個壯碩的槳狀肢優雅巡弋四海。當時，比之更矯健的魚龍類群已滅絕，牠們是白堊紀末期海洋中的霸王掠食者。



我數了數牠嘴裡上下、左右各該有16顆利齒，但總共有14顆磕碰掉了，其中的7個齒槽已冒出了替補的新牙尖。這種頻繁換牙的模式，和恐龍與鯊魚一樣，一輩子都不缺牙。但不必羨慕，牠很可能無法體驗食物之鮮美，咬住獵物就囫圇吞下肚，還得靠胃裡的卵石相助消化。



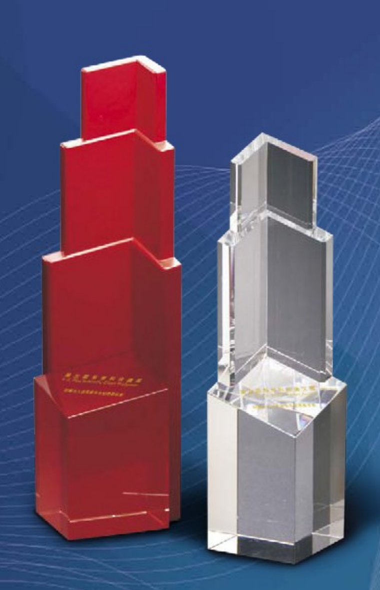
蛇頸龍沒能躲過結束白堊紀的那場天外小行星撞擊災難，伴隨著陸生恐龍和全球超過75%的物種，都滅絕了。屍橫片野的海洋，要再等1000萬年以上，才有由陸入海的大型掠食動物。這回輪到倖存的哺乳類了，鯨豚成為新霸主。當時蝙蝠剛飛上天，靈長類上了樹，草原沼澤裡出現了象的祖先。如同中生代之初的爬行類，哺乳類在新生代輻射演化，爭奇鬥豔。

書房裡另有一箱我珍愛的標本，是來自2000萬年前甘肅的哺乳動物化石，有三趾馬、鏟齒象、臭鼬、巨鬣狗等。牠們的共同特徵是嘴裡有門齒、犬齒與臼齒之分，這也是哺乳類的新興特色。為了維持體溫恆定，牠們得吃更多，也得好好咀嚼食物，以便萃取出更多能量。頭部的骨骼做了大調整，聽覺與咬合都更精進。有限的化石證據和知識，讓我在課堂介紹這優勢演化是始於大難之後的偶然。談了30年，都信以為真了。然而近年的化石新發現，大幅修正了這幸運革命崛起論，原來在中生代恐龍的陰影下，哺乳類已能掘地、上樹、滑翔、下水，還大啖恐龍肉，儼然已蓄勢待發。〈恐龍遭殃 哺乳類當家〉是教科書還來不及修正的新知，讀者當先睹為快。

創新演化是這期《科學人》的亮點，〈一推一拉間，水母輕鬆游〉、〈大智若魚〉再加上應景的〈科學加速飛毛腿〉，觀賞奧運，讚歎人體健美之極致時，當生起探尋生命奧秘的興趣，〈追隨兩爬足跡──踏上游崇瑋的生態旅程〉是入門指引。

李家維

影像來源：李家維



遠東關係企業
財團法人徐有庠先生紀念基金會
http://www.feg.com.tw/yzhsu

第14屆有庠科技獎
Y. Z. HSU Science Award

2001年12月，為了緬懷遠東集團創辦人 徐有庠先生畢生的貢獻，並發揚其“深耕工業、播種公益”的重要理念，由遠東關係企業、徐氏家族以及友人，共同創辦了「財團法人徐有庠先生紀念基金會」，成為科技部下轄第一個民間科技基金會。

基金會成立至今已邁入15周年，秉持著「科技創新」之宗旨，積極投入推動國內科技事務及獎勵科技人才。每年定期舉辦「有庠科技獎」，設立「有庠科技講座」表揚國內長期致力於科技研究與科學教育的標竿學者，設立「有庠科技論文獎」甄選出當年度國內學術界所發表的頂尖科技論文，設立「有庠科技發明獎」鼓勵科技專利發明及產學交流合作。「有庠科技獎」聚焦在「奈米科技」、「資通訊科技」、「光電科技」、「生技醫藥」、「綠色科技」等五大類別，期望透過獎勵提升台灣新興科技領域的研究水平。基金會成立15年來，總計獎勵國內238名頂尖學者，累計頒發獎金超過1.2億元，成果卓著。

基金會近年來更向下扎根，自2009年開始舉辦「徐有庠盃－台灣青年學生物理辯論競賽」，舉辦八屆以來，共吸引國內177支高中隊伍參加，參賽師生達1000人次。本活動選拔出的台灣代表隊，在歷屆國際青年物理學家辯論錦標賽（IYPT）大放異彩，數度獲得銀牌獎佳績，今年更從29個國家中抱回了金牌，不僅讓台灣科普教育成功接軌國際，並且使得台灣科技薪火得以傳承延續。

第14屆有庠科技獎頒獎典禮

2016 / 8 / 17（三）下午2點

地點：遠東國際大飯店3樓 遠東宴會廳
台北市敦化南路二段201號

網址：www.feg.com.tw/yzhsu

典禮聯絡人：徐迦勒先生 02-2733-8000 ext.8407
方自傑先生 02-2733-8000 ext.8014





翻轉競爭力
科技是台灣未來出路

——專訪遠東集團、徐有庠先生紀念基金會董事長 徐旭東

今年國際青年物理學家辯論賽（International Young Physicists' Tournament，簡稱IYPT），徐有庠先生紀念基金會長期贊助支持的台灣代表隊，在29國的激烈競爭中首次摘金；遠東新世紀研發的智慧衣技術DynaFeed，也在全球最盛大的德國慕尼黑運動展ISPO AWARD競賽中鍍金，看到民間對科學發展的熱情與成就，讓全世界看見台灣，基金會董事長徐旭東表示，科技將是未來的出路。

智慧衣驚豔全球
運動用品展奪冠

「科技真是了不起！」徐有庠基金會董事長徐旭東日前走訪中國北京及日本福岡，目睹一家大型購物中心足以「吞」下6500部車子，且出入動線流暢；海納四萬人的巨蛋屋頂有開合功能，且能快速紓散人潮，徐旭東談起世界科技變化，眼睛不禁亮了起來。

他展示一件由遠東新世紀公司推出的新一代智慧衣技術DynaFeed，「看起來很平常？可是你的運動小幫手喔，以後連手環也不必戴了！」徐旭東語帶玄機的說。原來這件衣服運用奈米碳管聚合物等高端科技，只需仰賴衣服胸前的「小機關」感應，即能提供智慧資訊，包括動作記錄及運動強度等，還能精確測量心跳變異，展現科技「化繁為簡」的王道。

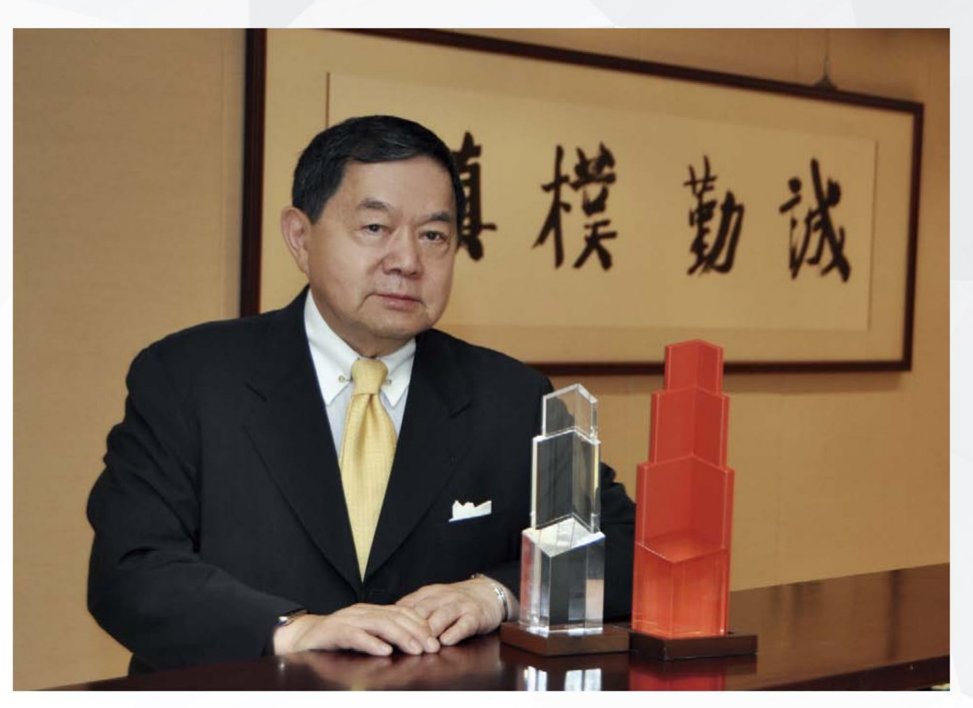
DynaFeed智慧衣在今年德國慕尼黑運動用品展（全球最盛大的運動暨戶外用品展）贏得評審團一致讚賞，也打破過去慣例，首次將金獎頒發給生產製造商—遠東新世紀公司，再次證明遠東集團創新科技的獨特魅力與堅強實力。

IYPT 展現贏的志氣
為台灣奪得首面金牌

今年，對徐有庠基金會別具意義。徐有庠基金會自2009年起與台灣師範大學物理系共同推動「徐有庠盃——台灣青年學生物理辯論競賽」，培養年輕學子用英文進行物理辯論，提升邏輯思考、分析問題能力，自2010年開始培訓學子參加「國際青年物理學家辯論錦標賽」(IYPT)，2013年更爭取由台灣主辦這項國際比賽，徐有庠基金會成功讓台灣學子與國際競賽接軌，並於2016年首度在IYPT國際賽中摘下金牌。

「這次我們的孩子真是不得了，從29個國家抱回了金牌，打敗美國、英國及中國等國，展現贏的志氣！」徐旭東欣慰、開心的說。想到這群師生從早到晚勤於練習，帶著奮鬥與使命感，「真的很值得喝采。」

這面金，真的贏來不易。徐旭東指出，參賽學生除了物理專業，英文要夠好、膽識要大、團隊要



合作，有參賽學校將此競賽列為長期培訓重點，甚至是學校的發展特色與目標，徐有庠基金會長期支持本活動，很欣慰看到了成果。

除了物理辯論賽，基金會下一步希望將活動推廣到醫學等不同領域的競賽，激發年輕學子其他領域的新觀點。徐旭東有感而發表示，「提升台灣的競爭力，科技向下扎根的工作格外重要。」

孤寂的研究道路
基金會長期扶植

徐旭東指出，基礎科學研究往往需要漫長時間才能進入應用階段，研究者歷經明明很努力卻沒有回報、申請經費不如預期等困境，但在徐有庠基金會長期扶植、陪伴下，他們不僅得到實質資源挹注，更引起科學界對研究主題的注意，「我們在台灣為數不多的相關機構中，給了科學研究者背後支持的力量，雖然學者埋首實驗，大家目前還看不到你，但基金會率先肯定你！」徐旭東驕傲的說。

有庠科技獎14年來孕育、鼓勵了很多科學家，從當年的研究者身分，如今在產、政、學界嶄露頭角者大有人在，例如現任經濟部長李世光、台大醫院院長何弘能、中研院彭旭明院士等都是歷屆的得獎人。基金會希望透過鼓勵默默研究的傑出人才，將研究結果廣為分享，累積對台灣社會正面的影響力。



迎接 STEAM 時代
翻轉台灣競爭力

分析2016年的得獎作品，徐旭東表示，對科學研究者來說，好奇心是科學之母，今年有些得獎者的驚人之作，就是起源於探究事物的能力。例如資通訊科技講座得主吳家麟曾經與學生從武俠小說的隱形墨水概念出發，發展出全球第一套「不可見數位浮水印」技術，如今又開發出全球DVD播放器市佔率最高的視訊軟體，成為產學合作的典範。

有的得獎內容則反映了時代趨勢，如資通訊科技論文獎得主鄭文皇，以新的分析法，從大數據中精準、有效的淬煉出分析價值。「大數據握有改變各行各業的能力，但光建置還不夠，最重要的是找出smart data，並進行有效管理，才能翻轉台灣的競爭力。」徐旭東指出，「未來是STEAM（科學、科技、工程、藝術、行動）五分子緊密結合的時代！」

徐旭東有感而發的說，科技是台灣未來的出路，學術與教育必須現代化並與國際接軌，徐有庠基金會願意在培育人才的道路上持續付出努力，也期盼政府端出相關政策，「景氣不好，集思廣義的討論總會研擬出解決辦法。」他認為只要抱著齊心拚經濟、持續推動升級的理念，大家向前邁進，自然會長出智慧來，「未來的路上，充滿人才與創意的台灣定將創造更多的美好」。





有庠科技講座——奈米科技

許千樹 Chain-Shu Hsu

國立交通大學應用化學系 講座教授

主要經歷

國立交通大學副校長
台灣聯合大學系統副校長
中華民國高分子學會理事長

研究領域

有機半導體、奈米科技及再生能源

創新與合作 促進國際交流及人才培育

許千樹博士是國立交通大學終身講座教授，主要從事有機半導體材料開發，合成共軛高分子應用在有機發光二極體、有機薄膜電晶體及有機太陽能電池上，並利用奈米粒子或奈米操控技術增強上述三種有機半導體元件之效率。許千樹於1987年獲得美國凱斯西儲大學博士學位，之後即進入國立交通大學任教，為國內有機半導體研究之先驅，不僅在研究上有近三百篇重要論文發表於國際期刊，並致力於產學合作，推動國內產業之發展。同時也積極參與國際合作，與法國南特大學研究團隊共同進行奈米發光元件之研究，於2006年獲得台法科技獎。由於其在奈米研究之傑出表現，也獲得教育部學術獎及經濟部奈米產業科技菁英獎。

跨領域研究 經世致用

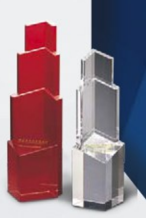
有機發光二極體（OLED）是一個嶄新的顯示技術，由於其自發光、耗能低的特性，可以做出輕薄短小與可彎曲的顯示器，已逐漸取代液晶顯示器，應用於智慧型手機。許千樹曾經研發許多高分子發光材料，利用無機奈米粒子及量子點和這些高分子發光材料，發展出有機無機混成OLED元件，在製程方面開發獨特的緩衝層及刮刀技術，製備出大面積多層白光OLED元件，這些技術不但可應用於顯示器，也可以應用於白光固態照明。

不斷創新的自我挑戰精神

當一項研發技術趨於成熟，許千樹就會開始思考下一步的新方向。放下原本最熟悉的東西，進入剛開始發展的新領域，等於是重新學習，這對許千樹而言是研究上的挑戰。在OLED後，許千樹投入有機太陽能電池的研究，目前已經發展出超過10%能量轉換效率的高分子太陽能電池，具有商業化潛力，可應用於3C產品，最近亦投入鈣鈦礦太陽能電池之研究，鈣鈦礦是一種有機無機混成的晶體，可以吸收大部分的可見光，其能量轉換效率高達22%，已超過矽晶太陽能電池，其缺點是元件穩定性不夠，還有含鉛的問題，許千樹正在研究解決穩定性及取代鉛的方法，期望能發展出效率高及價格便宜的太陽能電池，以解決人類能源短缺之問題。

許千樹認為台灣的研發能量強，但需要政府與企業對研發工作的重視和協助。對於徐有庠基金會長時間投入心力與經費，鼓勵研究工作，許千樹深感敬佩，因為研究工作花費時間漫長，研究路程孤寂，是很需要被肯定與鼓舞的。





吳家麟 Ja-Ling Wu

國立台灣大學資訊網路與多媒體研究所 特聘教授

主要經歷

科技部103年度「傑出特約研究員獎」
國立台灣大學資訊網路與多媒體研究所教授
國立台灣大學資訊網路與多媒體研究所所長
暨南大學資訊工程學系系主任
國立台灣大學資訊工程學系副教授
大同工學院電機工程學系副教授

研究領域

數位訊號處理、錯誤更正碼、資料壓縮、多媒體系統

產學合作的典範 持續讓台灣的資訊研究在世界發光

吳家麟從大同工學院取得電機博士學位後，在大同電機系擔任一年副教授後即應聘至台灣大學資訊工程系，後來除了協助暨南大學創立資訊工程系，也與同仁在台大創立「通訊與多媒體實驗室」，成為該領域國內最早、規模最大、成果最豐碩的研究實驗室。吳家麟長期投入產學合作和人才培育，為台灣軟體業帶來深遠的貢獻。不僅多次獲得台大教學優良獎及各項研究獎，也曾獲國科會傑出研究獎以及科技部傑出特約研究員獎。2009年吳家麟與其研究室更獲頒中華民國資訊學會最高榮譽的「資訊獎章」。

關注趨勢，無窮的創意

吳家麟研究生涯中最先投入「視訊壓縮技術」的研究。吳家麟剛進台大時多媒體相關研究正蓬勃發展，如何解決視訊媒體資料量龐大的問題尤其具有挑戰性。後來吳家麟更進一步與訊連科技的黃肇雄董事長合作開發視訊軟體PowerDVD，成為全球DVD播放器市佔率最高的軟體。

1995年吳家麟參加研討會，一位德國講者將保護智慧財產權視為國防的延伸，吳家麟認為這是台灣值得也必須發展的領域。因此與學生從武俠小說的隱形墨水概念出發，以視覺可辨識圖形做為基礎，發展出全球第一套「不可見數位浮水印」技術。未來也希望朝著數位犯罪偵防以及網路敏感性資料保護的方向研究。

近年吳家麟則深感國內電機資訊領域學生欠缺創意與美學的訓練，因此積極投入「數位內容分析」的新領域，像是結合學生對體育競賽的興趣，開發有效偵測比賽影片特殊事件的技術；或是開發可以編輯並設計排列相片的「拼貼式幻燈秀」系統。

大處著眼，小處著手

回顧其研究與教學生涯，大同工學院的求學歷程對吳家麟影響很大。尤其是當時他曾請教董事長林挺生大同產品物美價廉的秘訣，其實不外乎四個字「照抄照超」，只有真正了解產品架構與內涵，才有機會模仿並且超越。另外吳家麟也常將自己人生的座右銘「大處著眼，小處著手」與學生分享，尋找問題與研究方向時視野要宏觀，可以多思考研究對產業與人類生活的影響，然則真正解決問題仍需從微小的細節出發。最後吳家麟想要感謝合作夥伴黃肇雄董事長、指導教授貝蘇章院長、提攜他進入台大的李琳山院士，以及台大資工系提供的優秀環境與家人最堅實的支持。





有庠科技講座──光電科技

鄭建鴻 Chien-Hong Cheng

國立清華大學化學系 特聘講座教授

主要經歷

中國化學會理事長
國立清華大學學術副校長
教育部終身國家講座
國家科學委員會自然處處長

研究領域

有機金屬化學、有機化學、有機材料化學

堅持與毅力 點亮有機光電材料新領域

鄭建鴻教授從美國羅契斯特大學取得化學博士學位，一年博士後研究後返回母校清大化學系。任教超過30年，歷任清華大學化學系系主任、研發長及副校長，也曾擔任中國化學會理事長及國科會自然處處長。

鄭建鴻在有機金屬化合物催化有機反應領域的成果豐碩，尤其在鎳及鈷觸媒應用在有機反應上的研究，在國際上廣受注意。鄭建鴻在2000年後，部分研究開始轉向有機電致發光材料及元件製作，研究以應用為主的有機金屬及有機光電材料，與產業界合作研發OLED材料，成功技轉獲得國內外好評。

跨領域背景，努力才能結果

鄭建鴻在紐約研究的有機金屬，屬於有機與無機化學的跨領域研究。他研究的「有機過渡金屬化合物」很適合當做催化劑，不但能加速化學反應，也可以透過催化劑的特定結構，選擇產生特定的反應產物。這在當時台灣也是少有人研究的新領域，鄭建鴻返回清大化學系後便積極投入新的有機催化反應研究。

1987年世界上第一個有機發光二極體（OLED）誕生之後，鄭建鴻利用其專長進行有機電致發光材料的研究。希望開發適合顯示器與照明使用的元件材料。鄭建鴻相當重視與企業界的合作，當時最困擾的是有機合成的顏色控制問題，一直設計不出適合的紅色。鄭建鴻的團隊後來發展有機銥金屬化合物，應用於紅光、綠光之磷光材料上，甚至曾被日本業界譽為「台灣之光」。

創新與耐力，積極扎根化學基礎教育

雖然在研究過程中也曾經面臨大環境景氣低落，當時台灣業界一度幾乎放棄研發OLED；也必須面對韓國大公司的競爭，以及中國大陸對優秀人才的積極挖角。鄭建鴻認為台灣在OLED材料的研發上仍有優勢，現在也有數家公司繼續在發展。

鄭建鴻對中學與高等教育的投入及貢獻也不遺餘力。擔任中國化學會理事長的兩年期間，舉辦「居禮夫人高中化學營」，邀集產學界優秀講者打開高中生的化學視野。鄭建鴻認為這些成就都不是個人的，他要要感謝研究生時期的指導老師Prof. Richard Eisenberg引領進入有機金屬的研究，也感謝清大化學系師生的共同合作。



陳青周 Ching-Chow Chen

國立台灣大學藥理學科 特聘教授

主要經歷

國立台灣大學醫學院藥理學科教授
國立台灣大學醫學院藥理學科主任
美國國家衛生研究院訪問學者

研究領域

表觀遺傳藥理學、發炎與癌症、訊息傳遞



挑戰與創新、毅力與堅持 為台灣培育人才與持續研究

陳青周在台大醫學院藥理學科/所任教及從事研究已有40年，學生分佈學術界、藥廠及醫藥衛生領域，表現突出；在研究的路上，她總是不斷接受挑戰、不斷創新突破，年年在國際權威期刊發表研究成果，已累積近百篇論文，其中有些榮登期刊封面故事，受到學界高度矚目。這一切成就，她認為，都是靠「毅力與堅持」辛苦耕耘而來。

再辛苦都朝目標努力

「這麼多年來，我沒有一天是輕鬆的。」訪談當日，陳青周趕回台南老家帶長輩到醫院看診，轉往嘉義與先生相聚，並抽空接受訪問。她就是這樣一肩扛下公、私事務：指導學生、做研究、主任所長期間之科所事務、照顧提攜後進……，每件事都高效率完成。細數她過去數十年來奮鬥的點點滴滴，可說是台灣科學界的「阿信」。

陳青周出身台南玉井，小時候必須走山路，長途跋涉才能搭上上學的小火車。她成績優異，一路從玉井初中、北一女到台大藥學系，後來考量客觀環境，留在台灣攻讀博士。當時國內不僅研究資訊取得困難，設備也不齊全，自己摸索嘗試，辛苦耕耘六年，才陸續在國外期刊發表論文。畢業後留在台大藥理所任教，研究之路並不順利，陳青周回憶道：「有時你很努力了，可能沒有回報，只能堅持下去；申請經費時，不如預期甚至什麼都沒有，你還是要堅持！」

跨領域合作，表觀遺傳藥理學再創新

經過幾十年不斷努力，陳青周的研究主題越來越豐富也越深入，從訊息傳遞、發炎反應、致癌機轉、表觀遺傳藥理學（epigenetic pharmacology）之基礎機制探討，到轉譯研究開發新藥等；近年深入研究癌症的調控機轉後，發現致癌的關鍵點，順著這個發現，她研究降血脂藥物statins具有類似抑制組蛋白去乙醯酶（HDAC）活性之結構，經由分子模擬探討，成功合成預防及治癌的雙標靶小分子抑制劑，目前已取得專利並技轉生技公司合作開發中；另外，陳青周也探討肺癌細胞產生抗藥性的機制，並設計新藥來抑制抗藥性基因的表現，以達到更好的治療效果，是台灣表觀遺傳藥理學領域的創新成果。

陳青周認為自己能在研究上不斷進展，與不同領域學者及臨床醫師合作，讓她受益不小。把學生教好，特別是他們的「態度」，是她的重要職志，「跟著我學習並不輕鬆，但是學生畢業後都會感謝我教導他們如何安排事情、面對困難、處理問題；我自己的學術起步慢了十多年，不希望同樣境遇發生在他們身上。」





蔣本基 Pen-Chi Chiang

國立台灣大學環境工程學研究所 特聘教授

主要經歷

國立台灣大學碳循環永續技術與評估研究中心主任
美國普渡大學土木/環工研究所副研究員
美國德拉瓦大學訪問教授
美國俄亥俄州立大學訪問教授

研究領域

理化處理方法、空氣污染控制設計、環工單元操作

加強國際合作
提升本土產業綠色科技應用

安全的用水與潔淨的空氣及環境是人們生活基本所需，國立台灣大學環境工程學研究所蔣本基特聘教授長年致力於水質淨化、二氧化碳捕集、及各種工業廢棄物處理等相關學理的研究與技術開發，在環境保護及污染防治方面貢獻卓著。

專注綠色科技，長年投入永續環境研發

蔣本基的研究領域範圍相當廣泛，研究成果無論就工程實用及科學新知方面來說，都有不少創見；並發表在國外知名期刊中，累積已逾130篇。蔣本基長年投入規劃國家永續發展及環境保護政策，建立法規標準及績效評鑑制度，近年來更積極參與氣候變遷與永續發展相關議題的教育，將他的影響力更為擴大與加深。

蔣本基領導的研究團隊長年致力於自來水淨化處理進行深入研究，不斷因應環境的改變及新興的污染問題而開創新的研究領域，從改善自來水脫色、消毒程序，控制消毒過程的副產物，乃至於去除水中天然有機物，目前則著重研究去除水中PPCPS（藥物與個人保健用品）的技術。因為對於水環境研究之貢獻與成就，在2011年獲頒國際水環境協會（WEF）會士殊榮。

工業廢棄物再利用，收一石三鳥成效

蔣本基自2005年起致力於開發「二氧化碳捕捉與再利用」，研發出國際首創的「超重力碳酸化」技術，以鹼性工業廢棄物做為捕碳的材料，利用超重力旋轉填充床來加速這些工業廢棄物的碳酸化程序，提高捕碳容量；而這些工業廢棄物經過碳酸化處理後，更具有做為建築水泥填料或路面基材等建築材料的潛力，帶來額外好處。蔣本基表示：「這項技術同時達到二氧化碳的捕捉、工業廢棄物的再利用、以及廢水回收等目的，可收一石三鳥的效果。」研究團隊於2011～2014年間在中鋼三號熱風爐建造第一代「超重力碳酸化程序」工廠，利用轉爐石與冷軋廢水進行測試，CO_2去除效率高達98%；目前則於台塑麥寮廠打造第二代「超重力碳酸化程序」工廠，納入監測分析設備與產物沉澱槽，使用副產石灰等廢棄物作為二氧化碳捕獲材料，相關技術正在驗證試驗中。

蔣本基表示，很榮幸獲得第14屆有庠科技講座，特別感謝國立台灣大學長年來對其相關研究的支持，未來希望能繼續加強與國外重點研究機構合作，提升本土產業於綠色科技應用，落實永續與綠色科技教育。



有庠科技論文獎——奈米科技



曾士傑
S.-Ja Tseng
國立台大醫學院
腫瘤醫學研究所助理教授

獲獎論文

高度專一性酸敏感載體於光動力治療結合p53誘導細胞走向凋亡之腫瘤治療
Highly specific in vivo gene delivery for p53-mediated apoptosis and genetic photodynamic therapies of tumor

專一釋放治療分子，光啟動癌細胞走向凋亡

全球癌症病例激增，已造成生命與經濟莫大損失。傳統的癌症療法通常不具專一性，常傷及健康細胞。新興的標靶治療則可不影響正常細胞，然而，如何讓治療藥物靠近腫瘤並進入癌細胞，仍是很大的挑戰。癌細胞周圍的環境偏酸，曾士傑據此設計出原本帶負電、但在酸性環境會轉為帶正電的高分子多聚體，這種包覆治療性分子的多聚體一旦靠近癌細胞會呈現正電，並與同樣帶正電的細胞膜結合而進入癌細胞。治療性分子p53能活化抑制腫瘤的路徑，而光敏感蛋白在光的驅動下，則能殺死癌細胞，實驗證實可讓小鼠的腫瘤縮小，開啟未來用於癌症臨床治療的嶄新策略。

曾士傑的研究橫跨化學工程、物理、分子生物學與醫學領域，談及為何能有此成果，他說：「因為我很喜歡跨領域學習，每當面對新領域，往往能看到獨特的切入點。」驗證嶄新的概念會遭遇許多挑戰，除了不斷嘗試新的做法，他提到多閱讀其他領域的專家在研究什麼，也是他成長的動力。另外，曾士傑不以過去的成果為足，他現在想的是繼續改進奈米載體系統以發揮更好的專一性與治療效果，他鼓勵研究人員抱持開放心胸、專注在選定的課題，勇往邁進。

有庠科技論文獎——奈米科技



林淑宜
Shu-Yi Lin
國家衛生研究院
副研究員

獲獎論文

利用金奈米微粒組裝內毒素囊泡作為疫苗佐劑
Endotoxin Nanovesicles: Hydrophilic Gold Nanodots Control Supramolecular Lipopolysaccharide Assembly for Modulating Immunological Responses

奈米量子點疫苗佐劑新策略

內毒素是革蘭氏陰性菌細胞壁的化學成分，在細菌死亡後釋出，能誘發宿主免疫反應，溫和時讓宿主對入侵病原產生免疫力，反應強烈時則引發嚴重發炎、甚至敗血症。然而過去並不清楚內毒素引發免疫反應輕重程度差異的原因，也無從利用人為方式介入控制。

國家衛生研究院林淑宜副研究員長期研究惰性金屬的量子點（quantum dot，由少量原子構成的奈米材料），陸續發現金量子點的抗氧化、發光等特性，似乎可應用於神經保護、生物檢測追蹤標記等。為了了解金量子點的材料安全性，她與同事合作，意外有了新發現，「原來內毒素彼此互相聚集時形成的『隊形』是影響免疫強度的關鍵。因此我們在金量子點的表面做了些文章，讓它們幫忙調整內毒素分子的『隊形』，達到調控免疫作用強度的效果。」為奈米材料應用於疫苗佐劑的發展提供了新的策略。

對於得獎，林淑宜特別要感謝合作夥伴林嬪嬪研究員及其博士後研究員羅月霞，因為「她們開啟此量子點的生物毒性研究，才讓這個研究有了新的發展。」

有庠科技論文獎——資通訊科技



鄭文皇
Wen-Huang Cheng
中央研究院資創中心
副研究員

獲獎論文

完形法則特徵點
Gestalt Rule Feature Points

融合認知學及心理學挑戰資訊科學新方向

大數據是近年最火紅的名詞，但是要如何從巨量資料淬煉出價值，尤其是目前最大宗的視覺資料，便是一大挑戰。一般人或許可以從不同風格形式例如照片、抽象畫或漫畫中分辨出同樣主題的形象，但是傳統電腦卻很難做到這點。以往一般做法是分析影像中的局部特徵點，但是傳統研究多局限在單一風格形式，一旦牽涉到跨風格影像，準確率就相當低。

鄭文皇跳脫傳統演算法思維模式，從認知學和心理學領域獲得啟發。他發現人分辨面貌時注重的不是複雜細節，而只是大概的輪廓。因此他利用心理學的完形法則和數學的圖論排序法，模擬人類視覺歸納基本幾何元素的運作過程，更有效地偵測不同風格媒材間的對應關鍵點。

大規模的影像檢索與分析對社群媒體的開發至關重要，新的分析法可以更貼近人的使用經驗，對人的喜好、興趣與活動做出更精準有效的分析。鄭文皇要感謝協助發想與撰寫程式的研究助理沈奕超先生、多媒體計算實驗室的協助，以及有庠科技獎對提升本研究可見度的支持。

有庠科技論文獎——資通訊科技



鄭瑞光
Ray-Guang Cheng
國立台灣科技大學
電子系教授

獲獎論文

OFDMA無線網路隨機存取通道在叢集訊務下的建模與分析
Modeling and Analysis of Random Access Channels With Bursty Arrivals in OFDMA Wireless Networks

細心研究與巧思網路通訊不塞車

隨著行動通訊蓬勃發展，逐漸成為國人生活中不可或缺的一環。但是行動網路的頻寬就好比體育館，隨機存取通道就如同大門，面對短時間蜂擁而至的大量訊息，該如何避免空有廣大的體育館空間，真正有需要的人卻不得其門而入，便成為新一代行動通訊網路需要解決的重要問題之一。

鄭瑞光幾年前曾參加行動通訊標準組織的會議，當時各家公司紛紛提出不同的解決方案。但是評估時必須考慮大量的機器設備，電腦模擬相當耗時，難以對系統進行最佳化分析。鄭瑞光的團隊提出新的機率工具，採用簡單且計算容易的漂移近似法來分析大量機器的瞬間行為。對於5G時代強調的物聯網服務，鄭瑞光認為新的工具可以更有效分析機器設備間的短訊息傳遞，地震警示、無人車溝通都是未來可以進一步應用的方向。

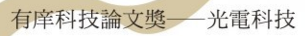
鄭瑞光要感謝太太與家人的體諒，在出差以及撰寫論文的過程全無後顧之憂。另外也要感謝魏嘉宏博士以及Giuseppe Bianchi教授，讓本論文提出的工具與分析方法能以更簡潔的方式呈現，並應用在實際的4G網路效能分析上。



有庠科技論文獎——光電科技



蔡定平
Din Ping Tsai
中央研究院應科中心
特聘研究員


獲獎論文

鋁電漿全彩奈米全像片
Aluminum Plasmonic Multicolor Meta-Hologram

奈米超穎全像片光學領域再創新

奈米超穎全像片是一種新穎的光學訊息儲存及操控的特殊光學裝置。蔡定平團隊以三原色雷射光照射奈米棒結構，利用表面電漿共振的資訊調制雷射光波波前，產生三原色構成的全彩影像。在這之前是受限於選取的材料其表面電漿波共振所能調制的波長範圍有限，只能涵蓋兩原色，這是首次以奈米結構產生三原色影像。利用的奈米結構是以鋁鏡上鍍一層二氧化矽薄膜，其上再特製一層奈米鋁棒超穎結構，此材料與結構設計之表面電漿共振可涵蓋整個可見光頻帶，在光學領域是一重大創新，具有極佳的發展與應用潛力，未來可望將目前的光電科技進一步升級及轉型。

蔡定平非常榮幸與感謝能夠獲得第14屆有庠科技論文獎，尤其衷心感謝從過去到今日師長的栽培、同儕的協助、家人的支持，以及台灣大學、中央研究院和科技部對研究計畫的贊助，才能有機會與學生，一起全心全意地努力做好研究，並且十分幸運，可在研究中不斷學習新的事物。希望未來能繼續在自己的領域中努力研究與學習，做出更多對國家社會有用的成果。

有庠科技論文獎——光電科技



盧廷昌
Tien-chang Lu
國立交通大學
光電工程學系教授

獲獎論文

具超強模態侷限之氧化鋅表面電漿子奈米雷射
Ultrastrong Mode Confinementin ZnO Surface Plasm on Nanolasers

好奇心開啟奈米雷射的驚奇之旅

因為輕量化與實務需求，光學元件的尺寸越來越小，但因光學繞射的限制，要縮小到次波長等級（尺寸小於入射光波長）成了重大挑戰。科學家利用表面電漿效應克服光學繞射極限。盧廷昌團隊利用製程優化過的銀做為產生表面電漿效應的機制，並利用奈米線為增益介質，在特定材料介電係數匹配的情況下，實現全世界模態體積最小且可在室溫操作的奈米雷射元件。可望嵌入電腦晶片中執行超高速運算，甚至應用於醫療感測與環境監控。

盧廷昌說，原本他對奈米雷射也抱持懷疑，是研究生想要試試看，才開啟了他們的驚奇之旅。他認為，研究是一條孤獨的路，保有好奇心才能有持續研究的動力與熱情；而細微的觀察力往往可以幫助找到研究的突破點。這次能獲得肯定，他最感謝整個研究團隊，包括實驗室夥伴，海洋大學林資榕與交通大學林聖迪的研究團隊，還有交大光電系王興宗與郭浩中的鼓勵，以及科技部計畫、教育部五年五百億計畫、交通大學在設備與經費的支持。也要感謝家人能支持他全力往理想前進。

有庠科技論文獎——生技醫藥



林愷悌
Kai-Ti Lin
國家衛生研究院
博士後研究員

獲獎論文

糖皮質醇透過調控微小核糖核酸MicroRNA-708可有效抑制卵巢癌轉移
Glucocorticoids Mediate Induction of MicroRNA-708 to Suppress Ovarian Cancer Metastasis through Targeting Rap1B

發現miR-708微小核糖核酸提供卵巢癌治療新方向

在台灣，卵巢癌發生率不高，致死率卻極高。早期卵巢癌沒有症狀且缺乏篩檢方法，七成患者確診時已發生轉移，若能找到抑制癌細胞轉移的有效方法，對卵巢癌治療將有極大助益。

林愷悌跟隨國家衛生研究院王陸海特聘研究員研究癌症轉移，發現名為miR-708的微小核糖核酸（micro RNA）能影響卵巢癌的轉移。她表示，微小核糖核酸通常由約21～23個核苷酸組成，能辨識特定基因序列並抑制這些基因的表現。她利用微陣列技術，分析高轉移能力及低轉移能力的卵巢癌細胞中各種微小核糖核酸的表現差異，發現在高轉移癌細胞中miR-708表現較低，並確認miR-708能抑制卵巢癌轉移蛋白基因，進而抑制癌細胞轉移。

她接著找尋能調控miR-708的物質，意外發現用來治療發炎症狀的糖化皮質類固醇（glucocorticoid）具有提高miR-708的效果，為卵巢癌治療提供了新方向。

這項研究發表在*Nature Communications*期刊，受到相當矚目。林愷悌表示，非常榮幸能在博士後研究生涯中就能與眾多學術上已有相當成就的學者一同獲得有庠科技論文獎，除了感謝評審委員的鼓勵，也感謝家人、同事的長年支持。

有庠科技論文獎——生技醫藥



葉秀慧
Shiou-Hwei Yeh
國立台大醫學院微生物學科
特聘教授

獲獎論文

蕾莎瓦經由SHP-1磷酸酶抑制肝臟中B肝病毒X蛋白所活化之致癌性雄激素路徑
Sorafenib Action in Hepatitis B Virus X-Activated Oncogenic Androgen Pathway in Liver Through SHP-1

調控磷酸酶SHP-1肝癌預防新方向

無論在台灣或其他國家，肝癌的發生率總是男多於女。台灣大學微生物學科葉秀慧抽絲剝繭發現雄激素的訊息傳遞路徑，對於B型肝炎病毒的活化及肝細胞癌化有著關鍵的作用，「我們發現B肝病毒有一種病毒蛋白質HBX，會活化肝細胞內的雄激素受體，不僅能使病毒數量增加，同時也會促使肝細胞癌化。」他們進一步把HBX蛋白的基因轉殖到小鼠體內，讓小鼠肝臟產生HBX蛋白，發現公鼠長出腫瘤的比例高達90%，遠高於母鼠；如果將公鼠進行早期去勢，腫瘤發生率會顯著下降，確證肝炎病毒蛋白與雄激素交互作用，是早期致癌的關鍵。

「接下來的問題是，是否有機會利用藥物來達到同樣效果？」葉秀慧表示，目前一些既有的攝護腺癌用藥就可抑制雄激素路徑，但會影響生殖系統功能。他們篩選了一些已在臨床使用或進入臨床試驗階段的抗肝癌藥物，發現末期肝癌用藥「蕾莎瓦」能抑制雄激素在肝臟中異常的活化，卻不損及雄性生殖系統，原來此藥物是透過調控一種在肝臟中具高量表現的磷酸酶SHP-1達到其抑制作用。有鑑於「蕾莎瓦」副作用較大，他們測試了一些其他新的衍生物，提供肝癌預防的新方向。

藥物研發只是開端，葉秀慧希望透過更多基礎研究，釐清雄激素在肝臟的角色，增進對肝細胞癌化的了解，以期有機會能針對不同階段的肝癌，發展有效的治療策略。

有庠科技論文獎——綠色科技



前瞻方法
破解海洋酸化率密碼

陳鎮東
Chen-Tung Arthur Chen
國立中山大學海洋科學系
講座教授

獲獎論文

從短期時間序列導出海水酸化率
Deducing acidification rates based on short-term time series

人類製造的二氧化碳一大部分由海水吸收，海水酸化對海洋生物有一定衝擊。但海洋pH值變化緩慢且季節差異甚大，需要長期觀測，將資料迴歸演算，才能得到可信數據。歷史較久的海洋測站全球只有三個，臺灣在這方向起步較晚，無法套用舊有模式來推估變化趨勢。

有鑑於海水對二氧化碳的溶解受溫度影響很大，國立中山大學海洋科學系陳鎮東講座教授的團隊嘗試在舊有推估模式中加入新參數——溫度，並利用在南海收集到數據成功推估出海洋酸化率，不再受限於時間，且大幅降低舊有模式的誤差。

陳鎮東解釋，過去科學家一直不了解，為何利用三大測站累積30年以上的資料所推算出的海洋酸化率，套用在不同測站的結果並不完全一致，在他加入溫度因素之後，「全世界就一致了！能成功解釋差異的原因，是各區域暖化速率不同。」

這項研究發表於重要期刊*Scientific Reports*，提出的前瞻方法逐漸受到認可及採用。對於獲獎，他表示，「很訝異，因為過去給獎偏向技術面，我的是純科學，很高興這獎項能擴大視野。」



有庠科技論文獎——綠色科技



產學創新思維
鋰離子電池再進化

吳乃立
Nae-Lih Wu
國立台灣大學化學工程學系
特聘教授

獲獎論文

兼具有高機械強度及離子電導度的高分子混合體應用於鋰離子陽極功率輸出與循環壽命性能之提升
A Mechanically Robust and Highly Ion-Conductive Polymer-Blend Coating for High-Power and Long-Life Lithium-Ion Battery Anodes

鋰離子電池是現今儲能容量最高的電池，能重複充、放電，因而廣泛應用於3C產品，發展中的電動車也逐漸捨棄鉛酸蓄電池，改採用鋰離子電池。在電池的固體電極與電解液之間自然形成的界面膜，能保護電極不被電解液腐蝕，但同時也阻礙鋰離子進出，影響充、放電性能。對於經常需要快速充放電以因應上坡或加速的電動車而言，是亟需克服的瓶頸。

國立台灣大學化工系吳乃立特聘教授創新思維，利用經過設計的高分子混合體來包覆電極活性物質，形成人工界面膜，同樣能保護電極、延長壽命，也可幫助鋰離子進出活性物質，使「放電速度增加10倍，充電速度提升30～50%，最重要的是，相對於傳統動輒需要500～600° C以上高溫燒製的電極陶瓷界面膜，此論文開發出的製程相對容易許多，界面膜成效更好。」

這個點子來自於長期與業界合作的經驗。吳乃立表示，當初業者只是想參考日本技術，用高分子聚合物將電池電容量提升10%。沒想到他的研究成果，效益更高。他說：「我一直很重視學界與業界的交流，希望幫忙解決產業界實際所需要解決的問題，但我也盡量不讓這些需求限制我的想像力。很多東西還是要從學理思考，來產生創新成果。」

有庠科技發明獎——資通訊科技



吳安宇
An-Yeu Wu
國立台灣大學電子工程所
特聘教授

獲獎發明

可程式化的低密度奇偶校驗編碼之解碼裝置及其解碼方法
Programmable LDPC Code Decoder and Decoding Method Thereof

低密度奇偶檢查碼——提高通訊傳輸與快閃儲存系統的可靠度

低密度奇偶檢查碼(Low-Density Parity-Check Code, LDPC)是由具有稀疏矩陣(指元素大多為0、少數元素為1的矩陣)特質的奇偶檢驗矩陣建構而成。LDPC剛提出時,便被證明錯誤校正能力接近理論上能達到的最大值,但因技術的問題而未能發展。現在因為積體電路等技術的發展,使LDPC變得可行。但是要讓解碼效果好,最好是可以讓矩陣裡的元素數值是隨機分佈的,也就是每一次不一定相同。吳安宇教授研究團隊所發展出的,便是「可程式」化(可以臨場即時設定多項系統參數)的LDPC解碼方法與電路設計,利用開關來動態調整矩陣大小和矩陣中的0與1之分佈。有別於一般LDPC的固定單模或多模解碼設計,因此可以提高錯誤校正能力。

LDPC是目前大多數通訊系統標準所採用的除錯方式,可以提高通訊傳輸的可靠度,同時也應用於快閃記憶體儲存系統,但是各個系統採用的LDPC編碼定義並不同,而本研究提出的彈性化「通用型LDPC解碼設置」可符合具通道適應性的通訊與儲存系統,例如軟體定義無線電(Software-defined Radio, SDR)以及快閃記憶體資料錯誤修正,可以加快晶片的執行速度,提升解碼效能,減少解碼所需時間。這項技術已移轉給業界發展,適合產業界開發具通道適應性的通訊系統以及供高階快閃記憶體系統使用。

有庠科技發明獎——光電科技



林芳正
Fang-Cheng Lin
國立交通大學光電工程學系
副研究員

獲獎發明

降低液晶顯示器色分離之顯示方法
Display method for LCD device with reduced color break-up

來自版畫的靈感 彩繪顯示器的節能未來

傳統的LCD是利用背光經過彩色濾光片來呈現色彩,因此需增加背光強度,通過濾光片後才不致太暗,但也因此較耗能。色序型液晶顯示器則是直接以RGB三原色的光源,藉由快速切換光源強度達到混色效果,因不需濾光片,耗能大幅降低。

色序型顯示器因超低耗能、高解析、高色彩飽和度引起關注,但當人眼與顯示器間有相對移動時,觀看到的影像邊緣會有色彩隱約分開的色分離現象,甚至使人暈眩,一直是色序型顯示器研發的主要障礙。林芳正的研究團隊從版畫得到靈感,先以一個色場呈現大略的強度與色彩,再以RGB三原色的色場補充細節,因此三原色的強度可以減弱許多,解決了色序型顯示器的色分離問題。林芳正研發團隊的Stencil-FSC顯示器,耗電僅為傳統LCD背光顯示器的20%,以目前全球顯示器普及情形來說,省下的電能極為可觀,而且此顯示技術也可應用於手機、平板和筆電。

林芳正表示這項研究最困難的,是創意靈感的產出,接下來,林芳正也將影像技術與生醫領域合作,投入視覺受損者的視覺檢測及重建相關研究。

有庠科技發明獎──綠色科技

元智燃料電池中心研發電池內部診斷系統



李其源
Chi-Yuan Lee
元智大學機械工程系
教授兼副研發長

獲獎發明

燃料電池內部狀態之診斷系統
Diagnostic System for Monitoring Internal Conditions Inside a Fuel Cell

燃料電池是利用氫與空氣反應產生電能，沒有二氧化碳污染問題，被視為乾淨的再生能源。元智大學在2000年成立「燃料電池中心」，機械工程系教授兼副研發長李其源應用微機電系統（MEMS）技術，開發能耐受燃料電池內電化學及高溫環境的多功能微感測器，體積只有幾根毛髮直徑大小，嵌入電池內可即時準確感知溫度、濕度、電壓、電流、流量、氣體壓力、氣體濃度等物理參數。

李其源解釋，這些物理參數彼此關聯，對電池性能及壽命影響極大，但過去的量測技術「不管是將電池挖洞插入感測器，或是用理論及模擬方法來推算，都無法即時準確得知燃料電池內部的真實資訊。」他率先利用微機電系統技術，讓不同功能的感測器以數十到數百微米的微小排列，解決了問題，而且不影響電池性能。而透過即時監測，有助於設計最佳化電池，是電池研發的一大利器。

李其源表示，多功能微感測器目前為實驗室階段，成本較高，但因其利用微機電系統技術，將來量產開發時可尋求台灣的微機電專業代工廠，可望大幅降低製造成本及時間。對於得獎，他表示：「綠色科技對地球及人類未來影響非常大，希望徐有庠基金會繼續對從事相關研究的專家學者給予更多肯定與支持。」



恭賀台灣代表隊 榮獲2016年 International Young Physicists' Tournament 金牌獎



徐有庠先生紀念基金會自2009年起與台灣師範大學物理系共同舉辦「徐有庠盃──台灣青年學生物理辯論賽」，選拔出優秀學生進行培訓，代表台灣參與國際青年物理學家辯論錦標賽（International Young Physicists' Tournament, IYPT），今年勇奪台灣史上首面金牌，展現出基金會長期扎根台灣基礎科學教育的豐碩成果。



本屆得獎名錄

獎項	類別	得獎人
第十四屆 有庠科技講座	奈米科技類	許千樹 教授 (國立交通大學)
	資通訊科技類	吳家麟 教授 (國立台灣大學)
	光電科技類	鄭建鴻 教授 (國立清華大學)
	生技醫藥類	陳青周 教授 (國立台灣大學)
	綠色科技類	蔣本基 教授 (國立台灣大學)
第十四屆 有庠科技論文獎	奈米科技類	曾士傑 助理教授 (國立台大醫學院)
		林淑宜 副研究員 (國家衛生研究院)
	資通訊科技類	鄭文皇 副研究員 (中央研究院)
		鄭瑞光 教授 (國立台灣科技大學)
	光電科技類	蔡定平 特聘研究員 (中央研究院)
		盧廷昌 教授 (國立交通大學)
	生技醫藥類	林愷悌 博士後研究員 (國家衛生研究院)
		葉秀慧 教授 (國立台大醫學院)
	綠色科技類	陳鎮東 教授 (國立中山大學)
		吳乃立 教授 (國立台灣大學)
第七屆 有庠科技發明獎	資通訊科技類	吳安宇 教授 (國立台灣大學)
	光電科技類	林芳正 副研究員 (國立交通大學)
	綠色科技類	李其源 教授 (元智大學)
第十二屆 有庠元智講座		陳家祥 教授 (元智大學)
		林錕松 教授 (元智大學)
		謝建德 教授 (元智大學)
第十四屆 有庠傑出教授獎	科技人文類	詹前隆 教授 (元智大學)
		李其源 教授 (元智大學)
		邱天隆 教授 (元智大學)
		張浚林 教授 (亞東技術學院)
	醫療技術類	陳晉興 教授 (國立台大醫學院)
		林子玉 主任 (亞東紀念醫院)

評審委員會成員

職稱	姓名
主任委員	劉炯朗 先生 (中央研究院院士/前國立清華大學校長)
評審委員兼奈米科技審查小組召集人	吳茂昆 先生 (中央研究院院士/前國立東華大學校長)
評審委員兼資通訊科技審查小組召集人	陳文村 先生 (中央研究院資訊科學研究所特聘研究員/前國立清華大學校長)
評審委員兼光電科技審查小組召集人	李嗣涔 先生 (國立台灣大學電機工程學系特聘教授/前國立台灣大學校長)
評審委員兼生技醫藥審查小組召集人	陳定信 先生 (中央研究院院士/國立台灣大學醫學院內科教授)
評審委員兼綠色科技審查小組召集人	黃秉鈞 先生 (國立台灣大學機械工程學系特聘教授/新能源中心主持人)

審查小組

小組	成員
奈米科技審查小組成員	牟中原 先生 (國立台灣大學化學系教授) 彭宗平 先生 (國立清華大學材工系教授) 李世光 先生 (國立台灣大學應力所教授) 李定國 先生 (中央研究院物理所所長)
資通訊科技審查小組成員	林一平 先生 (國立交通大學資訊學院教授) 鐘嘉德 先生 (國立台灣大學電信所教授) 許健平 先生 (國立清華大學資工系教授) 廖婉君 女士 (國立台灣大學電機系教授)
光電科技審查小組成員	孫啟光 先生 (國立台灣大學光電所教授) 潘犀靈 先生 (國立清華大學研發長) 謝漢萍 先生 (國立交通大學光電系教授) 李清庭 先生 (國立成功大學電機系教授)
生技醫藥審查小組成員	楊文光 先生 (中國醫藥大學醫學院教授) 沈哲鯤 先生 (中央研究院分生所特聘研究員) 陳培哲 先生 (國立台灣大學臨床醫學所教授) 林峯輝 先生 (國立台灣大學醫工所教授)
綠色科技審查小組成員	陳文章 先生 (國立台灣大學化工系教授) 林唯芳 女士 (國立台灣大學材料所教授) 陳炳輝 先生 (國立台灣大學機械系教授)



2016年7月號

解讀心智
〈超越恐懼：從心理學了解恐怖組織〉

文中提到恐怖組織如何操弄團體認同，讓兩個原本差異不大的族群分化、對立甚至敵視。這與台灣近年來每逢選舉，政黨為求勝選而操弄差異的做法十分相近，讓人感到無限憂慮。幸好文末指出：族群對立與分歧是恐怖主義茁壯的動力，所以每個人要以冷靜理性的態度面對極端主義的挑釁，才有機會超越恐懼。我認為這不僅是破解恐怖主義威脅的良方，也是對身陷對立泥淖的台灣，非常重要的提醒。

——宜蘭　樓元珏

科學人新聞
〈網際網路的西北航道〉

本文勾勒出關於這塊冰封之地的最新運用之道。讓人想起，不過一年前，西北航道的周邊國家，才因為海冰量減少競相爭奪主權。如今，透過鋪設這條海底光纖電纜，來回歐亞兩塊大陸的網路訊號，可循最短路線傳遞。是否也有機會在周邊各國間建立起「共同開發」的合作橋樑呢？

——台北　林俊安

〈癢與痛的親密糾葛〉

本文提到1/5的美國人，一生中會經歷一次六週以上的發癢，原因包括疾病、藥物，甚至是懷孕。文中提及有一名病患在寒冬深夜起來冰敷止癢，苦不堪言。

當初我懷老大時全身起疹發癢，遍訪中西醫，才知得了「妊娠皮癢症」，只有臉部、腳掌與手掌逃過一劫，症狀在生產後消失，醫生也只說與遺傳有關，後來懷第二胎時又發作一次！如今癢覺的研究已深入分子層次，不僅釐清癢與痛的糾葛，也闡明致癢途徑，進而有望開發全新的止癢療法，我的女兒也許有機會擺脫起癢發疹的遺傳魔咒了！

——嘉義　翁惠珍

本文讓我們從演化的角度了解，急性發癢其實是在提醒我們要避開蚊蟲和有毒植物。因為分子生物學的進步，關於發癢分子機制的研究，不再僅限於組織胺受體。隨著各項引發癢覺物質的發現，證實了癢覺具有專屬神經元，推翻傳統的「強度理論」，有助於研發治療慢性發癢的藥物。最後指出若能從簡單的過敏測試釐清致病原因，便可解病人「癢」不欲生之苦，值得當下有此困擾者積極一試。

——高雄　毛志民

〈生態旅遊考驗緬甸淨土〉

對緬甸這類保有大片原始林地的國家來說，自然資源是最大的資產。如何在開發和經濟間取得平衡，對旅遊業者與專家都是一大考驗。各方面都必須審慎評估，以免這難得的生態淨土走向不可恢復的窘境。此外，更要留心許多「不生態」的生態旅遊。

反觀台灣以旅遊業為主的蘭嶼、綠島等地，常削價競爭吸引觀光客；然而，小島的負荷量有限，當自然資源消耗殆盡，價格再便宜也吸引不到任何人。所以當我們享受看似經濟實惠的旅遊時，是不是也該思考一下土地的未來？

——高雄　張孟嘉

看完這篇文章，感觸相當深刻。緬甸較遲走向現代化，它的自然環境以及生物多樣性得以完整保存下來，對於緬甸發展觀光無疑是一大助力。但癥結點在於，如何在保護環境和每年帶來73億美元的觀光收益間取得平衡。幸好有外國志工願意攜手當地居民一起經營生態旅遊，不但能保護自己的生存環境，也能獲得利益。希望未來緬甸豐富的自然資源能世世代代永續發展，不會因為經濟利益而犧牲這塊美麗的淨土。

——高雄　王景勳

▶ 本單元歡迎讀者踴躍來信，發表感想與建言。請利用本期雜誌第109頁所附「讀者意見調查表」或直接e-mail至editors@sa.ylib.com，也可到 臉書：《科學人》粉絲團留言。若獲刊出，將致贈天下文化出版科普新書《愛因斯坦的辦公室給了誰？》一冊。

▶ 為感謝讀者寄回173期「讀者意見調查表」，來信獲刊出者以及下列讀者，將獲贈《便便不思議》一冊：王佳音、陳嬿如、陳文琦、林子旺。

太空科學

太空望遠鏡遮陽篷

NASA新型太空望遠鏡前方的恆星遮篷裝置，可望協助望遠鏡盡早發現適合生物居住的星球。

撰文／畢林茲（Lee Billings）

美國航太總署（NASA）新一代太空望遠鏡能否成功拍攝到太陽系外的其他類地行星？天文學家一直對這個願景抱持樂觀，希望找到適合居住或有生命跡象的系外行星。不幸地，事與願違，儘管天文學家滿心期待，實現這個夢想的科技似乎尚需數十年才可能成熟。目前越來越多專家認為，NASA廣角紅外巡天望遠鏡（WFIRST）有機會在短期內拍到另一個「地球」。NASA在今年2月正式建造這具預定於2025年發射的太空望遠鏡。

WFIRST一旦升空，配備口徑2.4公尺的鏡面，除了提供廣角影像，也可用來研究暗能量；暗能量可能是造成宇宙加速膨脹的謎樣斥力。但是還有另一個重要課題：到底人類是否孤獨生存在宇宙中？此課題也正逐漸影響這項任務的研究方向。

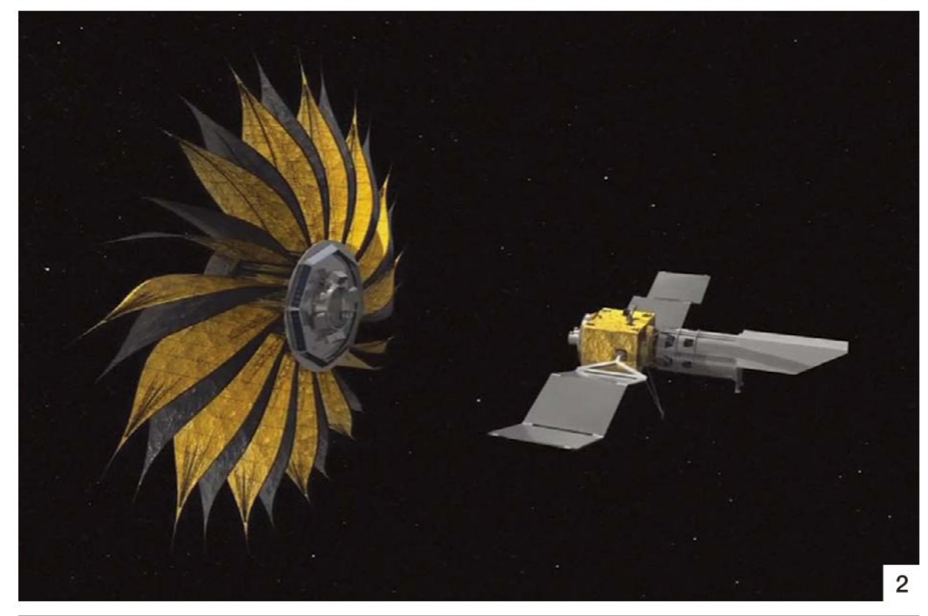
研究人員已經發現超過3000顆繞行其他恆星的行星，並預計接下來10年內將再找到數萬顆。粗略的統計結果顯示，每顆恆星至少擁有一顆系外行星，而大約每五顆太陽大小的恆星旁會有一顆行星處於不太熱也不太冷、有液態水存在的「適居帶」。想知道這些行星到底像不像地球，最好的辦法當然是親眼目睹，但拍攝幾光年外的行星可不是件容易的事。因為這些適合生物居住的系外行星只是一個昏暗的小點，所繞行的恆星半徑遠大於它們，亮度可能也強上1000億倍。

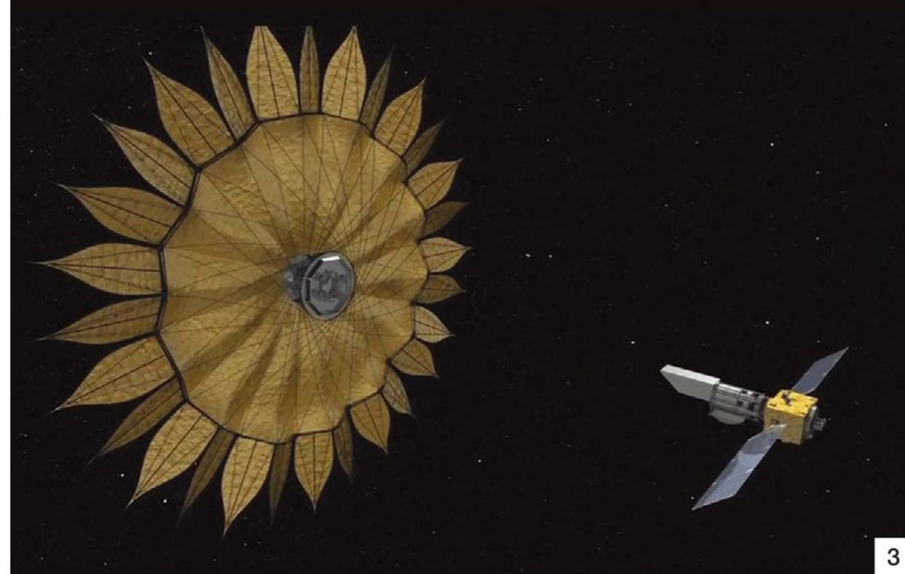
地球大氣層中的亂流會嚴重阻礙地表望遠鏡捕捉這些行星的影像，所以大多數專家傾向把望遠鏡移往太空。但是不論NASA哈伯太空望遠鏡或預計在2018年發射的韋伯太空望遠鏡，影像解析度都遠遠不足。為了捕捉行星影像，WFIRST將安裝先進的行星成像日冕儀，藉由一系列複雜的光罩、反射鏡和透鏡組合來濾掉星光。不過此儀器是在WFIRST計畫後期才新增，還不盡完美，因此有些專家認為WFIRST無法達成捕捉其他地球影像的任務。不可諱言，拍攝這類影像是非常艱鉅的挑戰，NASA初估至少需時20年，除了發展相關科技，也需獲得足夠預算來建造WFIRST全新一代太空望遠鏡。

然而有一種稱為恆星遮篷的裝置，可能幫助天文學家提早達成這個夢想。恆星遮篷裝置是一張向日葵形狀的遮蔽幕，厚度如紙張、面積約半個足球場，運行在WFIRST前方數萬公里，能遮掩目標恆星的大部份星光；功能就像我們把大拇指橫擺在眼前，可以遮蔽太陽的刺眼強光。恆星遮篷裝置可以和多數太空望遠鏡共同運作，有助於WFIRST偵測昏暗的行星，兩者合作無間，可望拍攝到至少40顆行星，其中包括大小和軌道都與地球相似的行星。WFIRST日冕儀的主要科學家、美國普林斯頓大學教授凱斯丁（Jeremy Kasdin）說：「一旦有了恆星遮篷裝置的協助，WFIRST最快10年內就能給我們一些類地行星的影像，根本不需等待20年。這是我們在大力投資NASA新一代超大型太空望遠鏡時，所遇到既迅速又省錢的罕見機會。」

儘管WFIRST離發射日期還不到10年，一旦決定加裝恆星遮篷裝置，相關準備工作就刻不容緩，因為WFIRST需要一些修正，才能夠和身處太空中數萬公里遠的恆星遮篷裝置達到同步運作。目前情況是恆星遮篷任務還未啟動，NASA天文物理部門的主任赫茲（Paul Hertz）表示，NASA「並不排除恆星遮篷模式」。截至目前為止，不排除恆星遮篷裝置就相當於採用這項裝置；當NASA首度宣佈執行WFIRST計畫時，便說明此望遠鏡將在距離地球150萬公里的軌道運行，這是一處平靜的好地點，非常適合恆星遮篷裝置發揮作用。另外，NASA最近成立了恆星遮篷預備工作團隊，並把恆星遮篷裝置設定為「技術發展活動」，這些舉動將有助於加快進度。

事實上，在普林斯頓大學的佛里克化學實驗室裡，凱斯丁已經利用特製的測試平台進行實驗：這是個1公尺寬、75公尺長的圓管，





COURTESY OF NASA/JPL-CALTECH

攝影機和雷射裝置分別架設在兩端，中間擺放小型化的恆星遮篷裝置。他預估在今年暑假結束前，就能在測試平台驗證必要的對照實驗：當放大成實際尺寸的恆星遮篷裝置時，能輔助類地行星成像日冕儀。於此同時，諾斯洛普格魯曼（Northrop Grumman）公司在內華達州的乾河床放置小型化的恆星遮篷裝置，並利用亞利桑那州的巨型太陽望遠鏡進行測試。NASA噴射推進實驗室的研究人員也在思索如何製作恆星遮篷裝置的精巧花瓣外形，才能從原本安裝在火箭裡的完整摺疊形態，經由部署後展開成如棒球內場大小。

建造恆星遮篷裝置還有另一項困難，不在技術層面，而是造價超過10億美元，遠遠超出太空望遠鏡的預算，因此這項任務必須先經過提案、再經核准，才能成為有足夠經費的獨立計畫。

對於一項尚在草創過程的科技，這是困難重重的挑戰，但我們極可能獲得前所未見的成果：把另一個地球的第一張影像成功展示在世人眼前，這是彌足珍貴的一刻。我們是否該加緊腳步完成？還是再等上幾十年？NASA和天文學界必須盡快做出決定。（洪艾彊 譯）

左圖顯示恆星遮篷裝置如何應用在新一代太空望遠鏡。(1)升空前，恆星遮篷裝置是摺疊形態，(2)恆星遮篷裝置和太空望遠鏡分離，並進一步展開，(3)恆星遮篷裝置飛離並維持在太空望遠鏡前方數萬公里處。

天文學

發掘古籍中的太陽記事

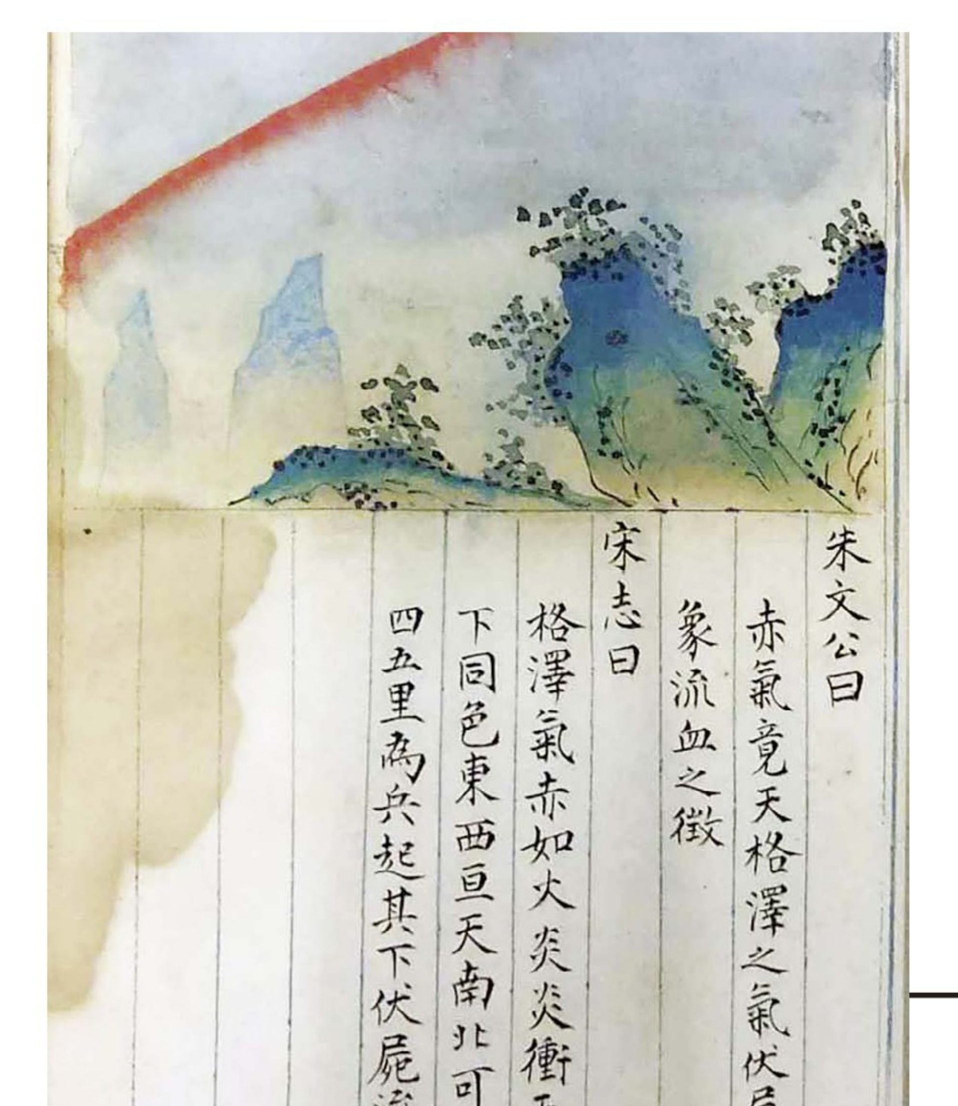
天文學家與歷史學家攜手，從古代文獻了解科學記載前的太陽活動。

撰文／納維爾（Rachel Nuwer）

直到17世紀初期伽利略開啟現代天文學研究之前，關於太陽活動的記錄似乎付之闕如，至少科學家是這麼認為。為了發掘過往的太陽活動，日本京都大學的研究團隊借助古代文獻，發現幾十處明顯關於太陽黑子、極光和其他太陽活動的記載，目前已遠溯至公元七世紀。只不過比起看懂伽利略的繪圖，解讀這些文獻要花更多功夫。

沒有參與這項研究的美國航太總署（NASA）太空電漿物理學家鶴谷（Bruce Tsurutani）評論道：「雖然科學家可以透過冰心、樹輪和沉積物來推測過去的天氣和氣候變化，類似太空氣象和極光的資訊則無跡可尋，所以我們必須善用祖先留下來的文字記錄。」

京都大學的歷史學家和天文學家分析數百份中國唐代以及公元7~10世紀日本和歐洲的古籍，成果發表在今年4月的線上期刊《日本天文學會出版物》。研究人員指出，他們一再讀到「白虹」和「不尋常彩虹」之類的名詞：同一時期在三個地區都有提及這些天象。京都大學文學院的研究生早川（Hisashi Hayakawa）是這篇論文的主要作者，他認為，這些地區相距甚遠卻幾乎同時描述類似現象，這只能以極光來解釋。極光是來自太陽的帶電粒子和地球大氣分子碰撞所產生，通常在地球的南北磁極以環狀形式出現。


朱文公曰
赤氣竟天格澤之氣伏
象流血之徵
宋志曰
格澤氣赤如火炎炎衝
下同色東西亘天南北可
四五里為兵起其下伏屍

該團隊去年也發表研究，他們蒐羅中國宋代（10~13世紀）的官方記錄，找尋其中可能關於太陽黑子的描述：文獻多把黑子形容成太陽裡的梅子、桃子或雞蛋；另外也找到38次太陽黑子、13次白虹或不尋常彩虹和193次可能是極光的事件。團隊也彙整了關於這些現象的記錄，並放在開放的網路資料庫。

研究成員之一的天文學家磯部（Hiroaki Isobe）提醒，我們無法斷定古籍裡描述的一定是太陽活動的現象。詮釋古代語言並且推論文獻中那些凶兆事件的真實面貌，是這項工作最獨特的挑戰。早川說：「海嘯和地震相對容易辨識，然而遇到『天色變紅』之類的描述，歷史學家就很難斷定到底發生了什麼事。」該團隊希望與歐洲、沙烏地阿拉伯以及南韓的研究人員合作，蒐集更多證據支持他們的結論。

透過整理關於太陽活動的長期記錄並找出活動模式，科學家能更了解地磁翻轉或太陽磁場對地球氣候可能的影響，以及增進我們對於日焰如何燒毀衛星、造成地球電力中斷和擾亂電子通訊的理解。磯部說：「鑑古可以知今。」（洪艾彊 譯）

中國古籍《天元玉曆祥異賦》中可能描述極光的文句。

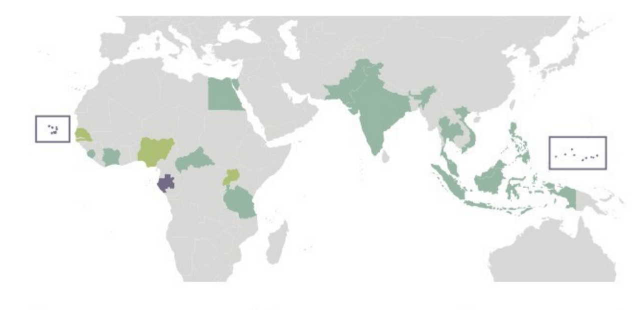
衛生

茲卡病毒源遠流長！

撰文／馬隆（Dina Fine Maron）

茲卡病毒目前已在50個國家流傳，今年5月中旬，就有七個國家或地區報告出現疑似茲卡病毒導致的小腦症及其他先天畸形病例。茲卡病毒會透過蚊子叮咬、輸血或與感染者發生性行為等方式傳播，也可能由孕婦傳給胎兒。

美國德州大學加耳維斯敦醫學分部的研究發現，儘管茲卡病毒已橫行全球近70年，不同病毒株的基因差異卻不大（下圖）。例如目前在美洲肆虐的病毒株與早先在法屬波里尼西亞發現的，幾乎無法分辨（灰色方塊的類群）。如果這種病毒不會隨著時間有太大變化，為何現在它能四處張牙舞爪？科學家並不清楚。但針對病媒蚊的新研究顯示，茲卡病毒從一開始就具備強大的致病力並可能造成大流行，因此突變的病毒株不大可能再出現新花樣。此外，公衛官員之前可能不知道茲卡病毒的潛在威力，因為這種病毒過去大多在偏遠地區傳播，直到不久前才大肆擴張勢力範圍。（林慧珍 譯）



1947～2007年發現的病毒株
- 於昆蟲、猴子或人類身上所發現的證據
- 確診的人類病例

2007～2014年爆發的疫情
- 確診的人類病例



茲卡病毒的遠古祖先及其他非洲黃病毒

親緣關係最接近的病毒株集結形成演化樹的各個分支，遺傳差異最小就是關係最近的病毒株。

- 非洲黃病毒姊妹株
- 非洲譜系
- 亞洲譜系
- 美洲，2015年

關係最近的病毒株之遺傳差異

0～20%　40～50%

塞內加爾，1972年 KEDV/DakArD14701
南非，？ SPOV/SM6_V1
奈及利亞，1952年 SPOV/CHUKU
烏干達，1947年 ZIKV/MR766
塞內加爾，2001年 ZIKV/DakArD157995
中非共和國，？ ZIKV/DaKArB15076
中非共和國，？ ZIKV/DakArB7701
中非共和國，1976年 ZIKV/DakArB13565
奈及利亞，1968年 ZIKV/IBH30656
塞內加爾，1997年 ZIKV/DakArD128000
塞內加爾，1984年 ZIKV/DakArD41666
塞內加爾，1984年 ZIKV/DakArD41662
塞內加爾，1984年 ZIKV/DakArD41525
塞內加爾，1984年 ZIKV/DakArD41671
塞內加爾，1984年 ZIKV/DakArD41519
塞內加爾，1968年 ZIKV/DakArD7117
馬來西亞，1966年 ZIKV/P6_740
密克羅尼西亞，2007年 ZIKV/MICRONESIA
柬埔寨，2009年 ZIKV/FSS13025
法屬波里尼西亞，2013年 ZIKV/HPF
巴西，2015年 ZIKV/SPH2015
海地，2014年 ZIKV/1225
巴西，2015年 ZIKV/Natal_RGN
瓜地馬拉，2015年 ZIKV/8375
瓜地馬拉，2015年 ZIKV/103344
波多黎各，2015年 ZIKV/PRVABC59
巴西，2015年 ZIKV/BeH819015
蘇利南，2015年 ZIKV/Z1106033
巴西，2015年 ZIKV/BeH819966
巴西，2015年 ZIKV/BeH818995
巴西，2015年 ZIKV/BeH815744

發現病毒株的年份：1940、1950、1960、1970、1980、1990、2000、2010

就遺傳而言，目前在美洲流行的茲卡病毒株，幾乎如同直接傳承自亞洲的病毒。其中一種說法是來自法屬波里尼西亞的旅客，在2013年透過血液把病毒傳到巴西。

SOURCES: *ZIKA VIRUS VECTORS AND RESERVOIRS*, BY SCOTT C. WEAVER, UNIVERSITY OF TEXAS MEDICAL BRANCH, FEBRUARY 26, 2016; "ZIKA VIRUS OUTSIDE AFRICA," BY EDWARD B. HAYES, IN *EMERGING INFECTIOUS DISEASES*, VOL. 15, NO. 9; SEPTEMBER 2009; CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION

Graphic by Tiffany Farrant-Gonzalez

心理學

病態的好奇心

人們不管結果、單純想求知的渴望，比我們以為的還要強烈。

撰文／賈克布森（Roni Jacobson）



人為什麼會搜尋有關於前任情人的新戀情、看網路上的負評，還有做其他顯然會讓自己痛苦的事？根據最近發表在《心理科學》的研究，這是因為人類天生有解決不確定性的需求，該研究發現，人們的求知欲強烈到讓人會想盡辦法滿足自己的好奇心，就算答案明顯傷人也是如此。

美國芝加哥大學布思商學院與威斯康辛大學商學院的行為科學家在一系列的四項實驗中，測試學生為努力滿足好奇心而接受嫌惡刺激的意願。在一項測試中，每名受試者會看到一堆筆，研究人員聲稱是來自先前實驗的工具；而這些筆有半數在按下時會發出電擊。

27名受試者知道哪些筆會觸電，另外27名受試者只知道有些筆會讓人觸電。當獨自在房裡時，相較於知情者，不知道哪些筆會電人的受試者按了更多枝筆並遭受更多電擊。後續實驗使用其他的刺激（例如指甲刮黑板的聲音與噁心昆蟲的照片），也呈現出相同的實驗結果。

本篇論文的共同作者、芝加哥大學的奚愷元（Christopher Hsee）表示，「探索」是深植於人性的一種驅力，與尋求食物或性的基本驅力可謂不分軒輊。我們通常把好奇心視為好的天性（例如可以帶來科學進展），但有時這樣的探索可能適得其反。卡內基美倫大學經濟學兼心理學教授魯文斯坦（George Loewenstein）是研究好奇心的先驅，他說：「好奇心可能驅使人們做出自毀的行徑，這是相當深切的洞察。」

不過人們還是有可能抗拒病態的好奇心。在最後一項實驗中，鼓勵受試者揣測自己在看完不愉快的圖片後會有什麼感覺，這些受試者就比較不會去選擇看這樣的圖片。這結果意指，若預先設想堅持貫徹好奇心會有什麼後果，可能有助於判斷是否值得這麼做。奚愷元說：「考慮長期的後果，是減輕好奇心可能造成負面效果的關鍵。」換句話說，不要看線上評論。（李明芝 譯）

模式生物

實驗鼠太乾淨啦！

把實驗鼠和寵物店鼠一起養，有助於製造接近現實環境的實驗模式。

撰文／蘭德修斯（Esther Landhuis）



科學家通常都上網訂購實驗鼠，但美國明尼蘇達大學的免疫學家馬索普斯特（David Masopust）卻遇到麻煩。幾年前在艾茉利大學進行研究時，他得開車數小時到農場穀倉捕捉老鼠，因為他懷疑實驗鼠廠商所提供的實驗鼠由於飼養在極度乾淨的環境中而缺少關鍵的免疫細胞。馬索普斯特為此測試了10年，發現他的懷疑是正確的：科學界和製藥界用來測試人類疾病相關藥物和疫苗的實驗鼠，並不是推論成年人類免疫系統的優良實驗動物。

根據馬索普斯特和同事刊登在今年春季《自然》期刊上的研究，飼養在無菌環境的小鼠，免疫細胞的基因和種類與人類嬰兒相似，而非成年人類。舉例來說，做為對抗感染第一道防線的記憶型 $CD8^+$ T細胞，在成年實驗鼠身上幾乎檢測不到，卻存在於野鼠和寵物鼠身上。史丹佛大學的電腦系統免疫學家卡

Illustrations by Thomas Fuchs

崔（Purvesh Khatri）說：「我們早就明白這件事，但是很高興它終於獲得證實。」

更進一步的研究發現，當科學家把乾淨的實驗小鼠和骯髒（帶有病菌）的寵物店小鼠養在一起幾個月，約有1/5的實驗小鼠死於感染。然而存活下來的實驗小鼠則發展出更健全的免疫系統，免疫細胞的基因活性也轉趨與成年人類相似。在接下來的實驗，這些實驗小鼠的免疫系統對抗細菌感染的情形，就跟注射過病原疫苗的小鼠一樣好。

這些實驗結果顯示，把實驗鼠和野鼠或寵物店鼠飼養在一起，有助於科學家得到的實驗結果較接近成年人類的疾病進程和接受治療後的反應。此外，由於實驗鼠無法呈現關鍵免疫特徵，這可解釋為何使用動物模式測試的實驗療法，在人體試驗通常都失敗。

卡崔說：「在受到控制的實驗中，並沒有呈現出反應現實世界的重要變因！」（張薰文 譯）

動物行為

城市飛蛾不撲火

有些棲息於都市的蛾已演化出避開燈光的行為，但這種適應行為是好是壞仍未知。

撰文／赫基特（Jennifer Hackett）

「飛蛾撲火」或許不再是必然現象，根據發表於《生物學通訊》的一項新研究指出，生存在燈火通明市區裡的飛蛾，有些已演化成不再受人工照明所吸引。



ASHLEY COOPER *Alamy* (*top*); GETTY IMAGES (*bottom*)

目前任職於瑞士蘇黎士大學的演化生物學家歐特梅德（Florian Altermatt）從還在巴塞爾（Basel）攻讀博士時，就開始記錄聚集在街燈下的夜行性昆蟲數量，他說：「我最感到興趣的是，哪些物種會受到燈光吸引？之後我注意到，在都市裡，聚集在燈下的物種種類比較少。」

當時為了完成博士論文，他把這些數據暫時擱在一邊。但是，都市裡的昆蟲面對燈光的誘惑能否不為所動？這個問題在他腦海揮之不去。五年後，他與巴塞爾大學的環境科學家艾伯特（Dieter Ebert）決定深入研究。

他們先分別在法國與瑞士的都市與鄉村地區蒐集巢蛾（ermine moth）幼蟲，飼養到成蟲後，再把這些成蟲（包括320隻鄉下巢蛾及728隻都市巢蛾）一起釋放到一間暗房裡，房間深處放了一盞螢光燈。幾乎所有生於鄉下的巢蛾都往燈光飛去，但生於都市的只有2/3撲向燈光，其餘巢蛾只在螢光燈另一頭的原點徘徊。

這項研究結果顯示，在有光害地區的昆蟲已產生演化適應行為，這樣的改變可能保住許多飛蛾的小命：過去研究顯示，一盞街燈每個晚上可能造成好幾百隻昆蟲餓死。

但是這種行為也可能有壞處，歐德梅特說：「我不覺得這種演化適應真的能補償光害對昆蟲造成的傷害。」例如，這些棲息在都市的飛蛾為了避開燈光，活動可能會限縮在較小的區域，如此一來，牠們協助植物授粉的範圍縮小，遇到其他同類的機會也減少了。（林慧珍 譯）

生物學

表皮細胞化身彩色條碼

科學家讓斑馬魚表皮細胞發出螢光色彩，追蹤細胞動態！

撰文／錢恩（Lydia Chain）





波斯（Kenneth Poss）似乎覺得他魚缸裡竄來竄去的洋紅色小魚還不夠閃亮，拿紫外光一照，牠們居然變得像是一道道迷你彩虹。波斯是美國杜克大學的細胞生物學家，他和同事運用遺傳工程技術，讓這一品系的斑馬魚表皮發出各式各樣的螢光色彩。

事實上，斑馬魚每個表皮細胞都具有獨特的色調，就像「條碼」一樣，讓研究人員可以同時追蹤數百個細胞。運用這種顯色技術，他們可以即時觀察個別細胞的受傷反應及傷口癒合情形。研究團隊在今年3月的《發育細胞學》發表研究成果。他們發現魚在受傷之後，例如擦傷或魚鰭折斷，有些表皮細胞會長得比較大，以彌補鄰近損失的細胞；有些細胞則會離開原本的位置，移動到新的區域以修補傷口。

波斯表示，這種技術也能幫助科學家更了解表皮細胞對藥物的反應，或癌化時會如何表現。他說：「這還只是搔到表皮癢處而已。」（王心瑩 譯）

材料科學

選擇防曬劑，膚淺很重要

防曬劑新配方，讓化學分子「黏」在皮膚表面、不滲入體內。

撰文／布爾札克（Katherine Bourzac）



COURTESY OF CHEN-HUI CHEN *Duke University*

在強烈日照下，擦上防曬劑有助於保護皮膚不致過度曝曬。但這些噴霧劑和乳液含有的一些常見活性成份，可能會滲入皮膚而進入血液循環，目前還不確定這是否危害健康。但美國耶魯大學的皮膚科學家吉拉迪（Michael Girardi）認為有必要發展現有防曬劑的替代物，他與該校的生物工程系已研發出一種防曬劑配方，可以讓化學物質留在皮膚表面而不滲入。

防曬劑中會吸收危險紫外光的化學物質，通常是有機分子（金屬氧化物的作用則是阻隔陽光）。沒有證據顯示這些分子會直接對人體造成危害，然而一些動物和細胞培養實驗的研究結果顯示，其中有些分子會與生物激素的受體結合，可能干擾體內負責運輸激素、調控生殖和其他功能的內分泌系統。

吉拉迪和團隊試圖研發不會滲入皮膚的防曬劑，他們採用常見的紫外光吸收物質「四–二甲胺基苯甲酸（二–乙基己）酯」（padimate O），並用生物可分解的聚合物製作成奈米粒子，包覆住padimate O，這種聚合物會與皮膚細胞的蛋白質結合，於是整顆奈米粒子便會黏附在皮膚上，即使潮濕也不受影響，除非拿毛巾擦才會脫落。根據吉拉迪最近發表於《自然．材料》的研究結果，新配方可保護小鼠皮膚不

受紫外光傷害，防曬效果和傳統的padimate O防曬劑不相上下。

美國國家癌症研究院的皮膚科學家克雷默（Kenneth Kraemer）未參與這項計畫，但對此研究結果印象深刻。他評論道：「如果能把防曬劑進入血液的風險降到最低，可能是件好事。」然而這個配方要出現在藥妝店架上，還需要很長時間。今年夏天，吉拉迪將執行一項研究計畫，預計約有25名受試者，目的是確定不同濃度的奈米防曬劑的防曬係數（SPF）。

於此同時，去戶外活動時擦上任何一種防曬劑都比沒有任何防護要好，因為這樣能夠避免曬傷、產生皺紋以及可能導致癌症的紫外光傷害。（王心瑩 譯）

太空科學

航向行星之王

NASA朱諾號太空船歷經五年終於抵達木星。

撰文／勒夫金（Bryan Lufkin）

第一艘深入木星濃厚大氣底層的太空船，已在台灣時間今年7月5日抵達。

美國航太總署（NASA）的這艘太空船名為朱諾號，將蒐集有助於闡明木星起源和形成過程的資料，以及關於長久盤據的風暴（大紅斑）細節，並把至今解析度最高的木星彩色影像傳回地球。

木星顯然源自太初星雲形成太陽後所殘餘的氣體和塵埃，但是我們不清楚木星接下來的形成過程以及是否有固態的內核。該計畫主持人波頓（Scott Bolton）認為：「知道木星形成的細節，有助於了解其他星球的誕生以及太陽系早期發生了什麼事件。」為了達成這個目標，NASA團隊在朱諾號上配備了多種感測器，以測量木星大氣的化學組成，並繪製木星重力和磁場的分佈圖。朱諾號的微波輻射計也將同時「觀看」雲層下方550公里的木星表面。

朱諾號是專門設計來探測木星這顆「行星之王」的第二艘太空船；第一艘是伽利略號，在1995年抵達後停留八年。不過朱諾號和木星共處的時間縮短許多，因為預計在20個月後，朱諾號將脫離軌道、燒毀在木星大氣層中。（洪艾彊 譯）



COURTESY OF NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE (*Jupiter*); SOURCE: NASA (*By the Numbers*)

[數字會說話]

28億公里
旅程距離

11片太陽能板
朱諾號是第一艘距離太陽最遠的太陽能動力太空船

37趟
朱諾號預計繞行木星南北極的次數

11億美元
目前累計的任務費用

任務時程表

2011年	2013年	2016年	2018年
8月5日	10月9日	7月5日	2月
朱諾號發射	藉由地球的重力輔助加速	抵達木星	任務結束

新聞鮮事

一覽世界科技進展

英國

英國人素以愛好杯中物聞名，但英國雪菲爾大學的一項研究發現，只有10%的成人習慣一口氣喝下大量的酒，因此英國人的喝酒行為雖然不健康，但不算非常嚴重。

法國

美國史丹佛大學研究機器人的專家哈迪柏（Oussama Khatib）為一具機器人打造了與人類相仿的靈巧手臂，他在法國南部海岸親自操控這具機器人探勘水下文物，並在探勘點100公尺深處的17世紀法國月亮號（La Lune）沉船中探尋到一支花瓶和其他人造物品。



巴拿馬

巴拿馬運河拓寬工程中挖掘出2100萬年前的猴子牙齒化石，是第一項北美地區曾有新世界猴存在的證據。研究人員以往大多認為，在350萬年前南北美洲相連之前，新世界猴只在南美洲出現並演化。

印度

印度太空機構日前發射該國用來建立全球定位系統（GPS）的第七枚（也是最後一枚）人造衛星，目前美國、俄羅斯、中國和歐洲也各自擁有完備的衛星導航網絡。

巴西

海洋學家驚訝地發現，亞馬遜河口有座廣達9300平方公里的珊瑚礁。這座珊瑚礁位於混濁的亞馬遜河中一處清澈水域，蘊藏的物種比一般珊瑚礁來得少，但依然是孕育海洋生物的搖籃。

盧安達

該國預計從今年夏天開始，以固定翼無人飛機運送血液和急救藥品至地處偏遠的診療單位。這些無人飛機將自動飛行到21所醫療機構，每次最遠可飛行120公里。（甘錫安 譯）

能源技術

未來核能水中尋

從海水提煉鈾，可望提供核電廠來源穩定的燃料。

撰文／赫基特（Jennifer Hackett）

海洋中蘊藏的鈾可滿足全球各大都市的電力需求達數千年之久，前提是要把鈾提煉出來。最近一項由美國能源部（DOE）出資的計畫將使相關研究工作邁進一大步。美國橡樹嶺國家實驗室和太平洋西北國家實驗室的科學家開發出可從海水提煉鈾的材料，依據日本研究人員的成果，這種材料是由表面塗佈醯胺肟的聚乙烯纖維構成。醯胺肟可把海水中的二氧化鈾吸附在網狀纖維表面，這種編織網的直徑達15公分，並且依放置地點不同，長度可達數公尺。接著以酸處理取得雙氧鈾離子，再加工、濃縮便可製成核燃料。這項研究在今年春季發表於《工業與工程化學研究》。

DOE核能處的龔（Stephen Kung）沒有參與此項計畫，他評論道，目前這項技術的效率低、成本高，但為了發展核能，尋找提煉鈾的替代方案是當務之急。目前陸地蘊藏的鈾礦只能再開採100~200年。龔說：「我們對鈾的取得必須有更長遠的規劃。」（甘錫安 譯）

[數字會說話]

3.3毫克
每公升海水含有的鈾

40億公噸
全球海洋含有的鈾總量

6公克
每公斤吸收材料可提煉的鈾

8星期
提煉6公克鈾所需的時間

2萬7000公斤
一吉瓦核能電廠運轉一年所需的鈾燃料

SOURCES: COSTAS TSOURIS *Oak Ridge National Laboratory (first, third and fourth items)*; COSTAS TSOURIS *Oak Ridge National Laboratory* AND STEPHEN KUNG *Office of Nuclear Energy, Department of Energy (second item)*; WORLD NUCLEAR ASSOCIATION *(fifth item)*



高涌泉
台灣大學物理系教授，最新的科普文集是《非物理不可》。

日本21，南韓0

日本很早就全力投入科研，是擁有多位諾貝爾獎得主的主要原因。

撰文／高涌泉

知名科學期刊《自然》在今年6月2日出刊的這一期之中，刊登了一篇文章〈南韓的諾貝爾夢〉，向讀者介紹南韓於2014年對於科研的投資總額為605億美元，佔國民生產毛額（GDP）的4.29%，比重之高，居世界第一。與南韓相比，科技霸主美國同年度的投資不到其GDP的3%，另一科技強國日本的投資則比3.5%略高一些。其實南韓在1999年對科研的投資只有2.07%，但是這10幾年來不停提升，速率甚至高過最近來勢洶洶的中國。

這篇文章說南韓大量投資科研的主要目的是想「藉由科技創新走出經濟危機，同時藉機拿個諾貝爾獎」（這目標具有普世性，例如台灣也是為了相同目的而投資科研），所以其投資固然大半流向應用科學與技術發展，但基礎科學也獲得不少經費。南韓總統朴槿惠最近宣佈基礎科學經費將在兩年內增加36%，她說：「基礎科學起自科學家與研究人員的好奇心，不過它也可能是新技術與工業的根源。」以20世紀的科技史而論，朴槿惠的說法多少有些根據，但是這種以科學發現開啟工業發展的途徑，能否持續下去，就見仁見智了，尤其南韓過去並沒有這樣的經驗。

不管如何，南韓以德國「馬克士普朗克研究所」與日本「理化學研究所」為範例，成立了「基礎科學研究所」，其下有26所研究中心（未來五年內將增加至50所），平均每所中心的年度經費約為1000萬美元。《自然》的這篇專文特別介紹了其中一所中心——「軸子與精密物理中心」（CAPP），這所中心受到高度期待，冀望為南韓拿到第一座諾貝爾獎。所謂的「軸子」是理論粒子物理學家所設想的一種新粒子，如果真的存在，可以解決強交互作用理論的某些問題，同時也能夠做為一種暗物質。其他國家也有尋找軸子的計畫，不過實驗規模都比南韓的小很多。假設CAPP捕捉到軸子，應該可立即獲得諾貝爾獎；不過如果軸子不存在，CAPP的不菲投資也就白費了。

去年諾貝爾獎公佈後，日本很高興，因為有兩位日本科學家獲獎，而南韓報紙的標題卻是「為何沒有南韓得主？」一位南韓國會議員把日韓諾貝爾科學獎得主數量——日本21，南韓0，比擬成難堪的足球賽結果，他質問基礎科學研究所主任「韓國何時才能得分？」

南韓當前基礎科學的實力固然無法和日本相提並論，但又有其他哪個亞洲國家可以呢？日本的科技成就遠高於鄰國，即使和西方科學先進國家相比，也不遜色。日本何以能夠如此？南韓科學史家、任教於首爾大學的金永植曾寫了篇論文探討這個問題，論文題目是〈東亞科學史中早期現代日本的問題〉（Problem of Early Modern Japan in the History of Science in East Asia）。金永植說，在一般看法中，西方國家的科技發展在前，日本引入這些已發展的科技在後，所以西方是一個「單元」，日本在其之外；科技在西方與日本間是「跨文化」的傳播，而不像西方國家之間（例如從歐洲傳入美國）是一種「文化內」的傳播。金永植反對這種傳統的觀點。

金永植說如果我們注意19世紀下半葉科技進展發生的時間，就會體認到當時日本的科技在很多面向其實與西方主要國家不相上下，甚至超越西方國家。日本當時於科技上所推動的很多事務，西方國家也同樣在做。也就是說，金永植認為日本實質上很早就在與西方競爭，而中國與韓國卻無那種雄心，只是在設法吸收自認西方已經發展完成的科技。金永植也點出當中國在鼓吹「中體西用」、韓國在鼓吹「東道西器」之時，日本雖然也會說「和魂洋才」，但是沒有中韓那麼執著，亦即日本與中韓在面對西學時，心態上已有明顯差異。

無論金永植的觀點是否廣受認可，日本很早就全力投入科研是不爭的事實。當其他亞洲國家也走上同樣的路，獲得諾貝爾獎是遲早的事。SA

影像來源：高涌泉



陳穎青
資深出版人，著有《老貓學出版》等書。

怎能缺了語料庫？

國家級語言建設必須符合現代化語言工具使用者的需求。

撰文／陳穎青

中華文化總會趕在馬英九卸下總統職務前推出《中華語文大辭典》，全套兩巨冊，總頁數超過5000頁，收辭10萬1000餘條，是近年來台灣辭典界少數新編的案例，頗引人注目。這部辭典會問世，乃因馬前總統2008年競選政見宣告要「兩岸民間合編中華大辭典」。

辭典除了推出紙版之外，同時還有線上版。線上版企圖心更大，除了語文大辭典的內容，還包括其他詞庫、漢字歷史源流，甚至也有響應開放資料的「漢字開放資料集」。以下就來看看「中華語文知識庫」（網址http://chinese-linguipedia.org）。

一個全新的國家級辭典、百科網站，值得我們花力氣簡評它的幾個優缺點。首先，這個知識庫終於跟上了字典網站的趨勢，把相關的資料庫都整合在一起。例如查一個單字，結果頁顯示出來，會包括「中華語文大辭典」、「漢字源流」、「書體筆順」、「專科解釋」和國家教育研究院提供的「學術名詞資料庫」，同時還可以播放讀音。其中大辭典、漢字源流、書體筆順都是新編的。一次查詢就可以在同一頁面上看見不同資料庫的內容，非常好用。不過這個網站整合的東西還是太少，像《康熙字典》、《說文解字》都有現成的數位內容，卻沒有整合進來。至於像「萌典」整合了閩南語辭典、客語辭典，有此先例在前，國家級的計畫卻未收錄，頗為奇怪。

辭典、資料庫和語料庫的整合，可幫助漢字學習與研究，也嘉惠資訊工程領域。

再者，單字查詢的時候會先列出單字詞條，然後才列出包含該單字的多字詞條。這改善了「重編國語辭典」網站的缺點，讓單字查詢的速度變快，要不然以前可要翻好幾次下一頁，才會找到。不過目前把不同讀音列為不同字頭的做法，跟傳統字典不太一樣，似乎不是合理的安排。

另外，網站號稱是兩岸合編，收辭卻不一致。例如台版可以找到「草泥馬」，卻未見於陸版網站。相信這不會只是單一案例，而是普遍的問題。

從研究中國古代漢語語言、小學的文字角度來看，本站新增了漢字源流資料庫，收錄常用漢字3000字，每字依次列舉甲骨文、金文、戰國文字、小篆、隸書和楷書六種字體，並且解說造字由來，這是線上極罕見的新資料庫。

可惜的是，解字的時效性似乎趕不上當前古文字學研究的進展。例如「巫」字甲骨文，所舉的字形在中央研究院「小學堂」資料庫裡，隸定為「弄」，但是學界通說的巫字，則是由十字交叉的兩個工字所組成：[illegible]。

站內使用的「書體筆順」，特別邀請淡江大學中國文學學系教授張炳煌重新書寫包括甲骨文、金文在內的筆順，比起過去以楷書為主的筆順，增益甚多。對古文書法學習者頗有幫助。

該網站上有一個區塊是「漢字開放資料集」，算是趕上了近年「開放資料」的新潮流。不過裡面也犯了一個這幾年官方釋出資料集時常見的毛病，就是湊數：只要有什麼東西可以做成表格，就把它轉成資料集。像漢字學術單位、漢字相關產業等，做成網頁都比假裝成資料集要好。

最後，此網站最重要的遺珠之憾是沒有語料庫。以大陸版的知識庫來說，網站上就提供了「現代漢語語料庫」和「漢字屬性庫」兩種研究現代漢字時不可或缺的資料庫，開放使用者自由查詢。台灣在編輯大型辭書時，是否參考國外工具書的編輯趨勢，預先準備蒐集底層的語料庫，然後據以判定字辭詞意、用例、詞頻呢？語料庫如果做成開放資料集，不只有助於漢字研究，也會嘉惠資訊工程界中有關自然語言分詞、自動翻譯、校對等子領域的研究，可說是眾多研究的基礎建設工程，非常值得政府投資。SA

影像來源：陳穎青



翁秉仁
台灣大學數學系副教授，也是《科學人》雜誌編譯委員、《數理人文》季刊執行主編。

台灣教科書的華麗與荒涼

教科書民營化之初百花齊放，但抑制書價後引來惡性競爭，發人省思。

撰文／翁秉仁

三個月前，有位資深老師提到，現在許多小學老師在教立體形體課程時，竟然全程以教科書商提供的電子動畫進行教學。另一位老師也表示，使用書商電子媒材已經是教學現場的廣泛現象，令人擔憂。

一葉知秋，引出幾個值得探討的問題。

首先，出現這種教學現況，表示有些教師的教學品質頗有問題。空間幾何比較難學，原因之一是書本、黑板、掛圖都是平面的，學生很難掌握空間感，更別提平面視圖可能造成的立體錯覺。學生初學立體幾何，最重要是實體操作。老師不操作教具，學生很難單靠平面視圖理解複雜的複合形體問題（例如中空形體的體積或表面積）。但很多人不知道，輔助數學教學的傳統教具在小學已然式微。以前學校設置的教具室，基本上已改為他用。教科書民營化之後，教具是由書商隨書提供。

近10年，家長一定已感覺教學開始「電視」、「電子」化；輔助工具隱隱變成教學主要手段。電子教材並非老師心血，而是書商的「贈品」。由於只要按鍵進行，很受老師歡迎。問題是，按鍵就可上課，還需要老師嗎？師生互動會不會未蒙其利、先受其害？目前書商因教科書政策，並未大規模投資真正的數位教科書，這些「工具」的教學效果非常可議。

家長或許以為這些贈品至少通過教科書審定委員會的審查，連很多現場老師也都這麼想。但是，目前審定程序只審定課本和習作，是否納入教師手冊則尚未定案。所有書商贈送的測驗卷、（第二本）習作、電子掛圖、動畫等全都未經審定。而且書商為了降低成本，這些贈品許多並非出自教科書編者，而是直接外包。一般人誤以為，小學數學只要數學成績不錯的人就可以出題，加上成本限制，這些贈品便良窳不齊。

假設小學教學真的被這種電子媒體壟斷，那麼教科書在台灣教育的最後堡壘，形同解體。因為在中學裡每科教科書早被掃到邊緣，絕大部份國高中生從未看過教科書，讀的都是一樣無須審定的講義。老師自主教學是崇高的理想，但就目前結果來看，大部份講義根本是因應大考的材料。想到台灣的所有學子，或許將浪費12年美好的成長時光，整天看螢幕、讀講義、背公式、做題目（其他科目類推），真是令人憂心。

最荒謬的是，政府花公帑制定課程綱要，書商投入成本編書，審定委員努力審定，編審雙方還要攻防辯證，有時為細節吵到快令人發瘋。結果，一群專家投入精神、時間、金錢編撰出來的教科書，絕大部份學生卻從未看過。就算教科書寫得再差、老師再優秀，這種「必要但無用」的教科書概念，總有點不對勁吧。

不只如此！台灣解嚴之後，為避免教科書有思想箝制危險，推動教科書民間化、自由化、商業化、一綱多本。但是因為政策波動，我們教科書的發展史足以寫成一本《新20年目睹之怪現狀》。一開始的研發百花齊放，形式大好。很快卻面臨書價問題，政府一反自由化的初衷，抑制書價，導致部份書商停止研發、倒閉退場。僅存書商只能想辦法佔領市場，行賄、伺候老師以及抄襲、攻訐、交換不同科目版本的新聞，時有所聞。

10年前，書商終於受不了變相的削價競爭，聯袂不再贈送測驗卷，結果被公平會以聯合行為施罰。其實這些未審定的贈品惡化教學品質，書商削價競爭更劣毀教育環境。書商囿於成本，難得做出正確決定卻受罰，送與不送都錯。我們是要出版社競爭，寫出好教科書？還是不要競爭？這樣何不恢復「統編本」？

教科書的存廢不是不能談，畢竟英美國家從未使用東亞意義的教科書（英國最近倒是想師法東亞國家與芬蘭，加強教科書地位）。教科書與網路資源競合也是好問題。另外若數位教科書潮流不可擋，教育部可像日本大方規劃，不要讓書商以低成本的小規模偷偷做。

看到英國推崇台灣教科書成就，回首台灣教科書景色一片荒涼，真讓人倒抽一口冷氣。SA

影像來源：翁秉仁



雪爾（Ellen Ruppel Shell）
美國波士頓大學科學新聞研究生學程的共同主持人，曾為*Scientific American* 撰文，最新著作是《愛上便宜貨：追求折扣的代價》。

鉛污染有多危險？

研究結果暗示，發生在美國密西根州弗林特的鉛污染事件，不一定會造成永久性的傷害。

撰文／雪爾（Ellen Ruppel Shell）

去年美國密西根州弗林特被揭露飲用水含鉛量過高，接著其他州與城市也爆出飲用水含鉛量驟升的消息，全美家長都很驚恐。不難理解人們為什麼會憂慮，世界衛生組織（WHO）官網上是這麼寫的：「孩童特別容易受到鉛毒性的影響，既使暴露於低劑量的鉛也可能受到嚴重傷害，而對神經系統的傷害更是不可逆的。」一些醫療人員知道弗林特的飲用水受到鉛污染後表示，鉛會對年幼的大腦造成永久性傷害，其他器官也有可能受到影響。而人身傷害律師提出法律訴訟時，訴訟書上寫著「無法彌補的傷害」與「鉛中毒」等字眼。

但住在弗林特與其他受到鉛污染地區的孩童並不會因此而萬劫不復，WHO的聲明並沒有說一定會造成傷害，反而使用「相對而言」以及「可能」等字眼。弗林特飲用水的含鉛量曾經高得離譜，而暴露於污染地區的人，血液鉛濃度也的確變高了。但參與制定鉛暴露標準的專家說，弗林特孩童的血鉛濃度，正確數值雖未公佈，但據信大多高達每0.1公升5～10微克（μg/dL）。大致上而言，這樣的濃度並不會造成永久性的神經傷害，甚至還有研究指出，大腦外圍的血腦障壁構造，可能阻隔鉛進入腦中。

科學家強調，有了這些見解不代表就可以不採取行動。相反地，研究人員認為，政府不只必須去除鉛污染的源頭，也必須改善受污染地區孩童的營養與教育，因為研究發現，這些措施可以減輕環境傷害引起的長期不良後果。然而一般人認為，孩童血液中只要含有鉛（即使濃度低）就會導致鉛中毒或心智障礙，這觀念不僅是錯的，也可能因此讓孩童甚或他們的家人被貼上標籤並造成壓力。維吉尼亞州立理工學院土木與環境工程系教授愛德華斯（Marc Edwards）記錄了弗林特飲用水中令人震驚的高含鉛量，他說：「中毒顯然是個沉重的字眼，我與弗林特的許多家長談過話，我擔心弗林特的小孩因此被貼上標籤。」

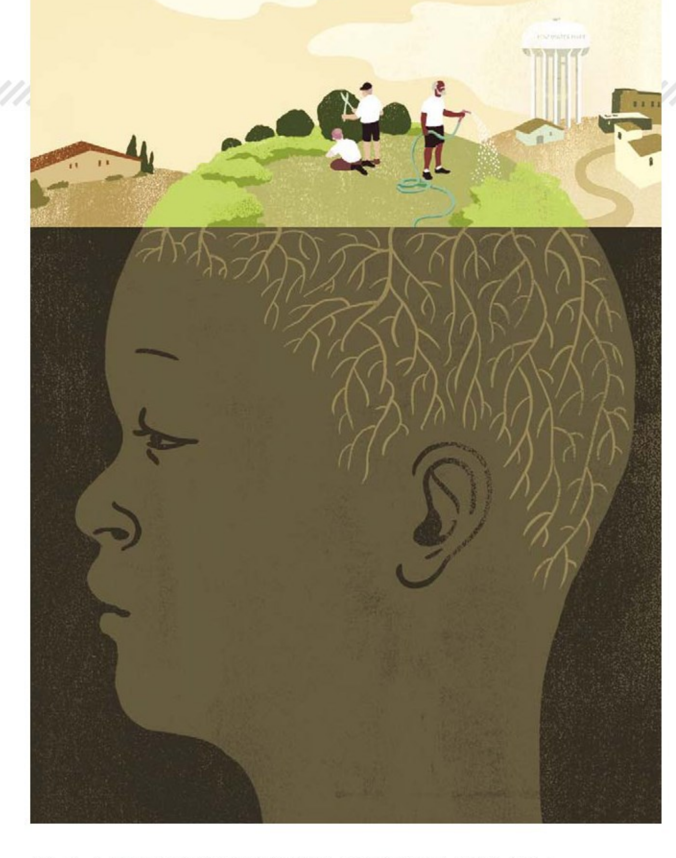
血鉛濃度的疑慮

人們對弗林特鉛污染的憂心，大都來自2013～2015年的發現：血鉛濃度≥5μg/dL的孩童比率加倍，從2.4%上升至4.9%。警覺的家長、科學家與遊說團體強迫政府必須面對問題並去除污染源頭：弗林特河的河水具腐蝕性，因此把城市老舊水管的鉛溶了出來。

血鉛濃度達5μg/dL究竟代表什麼意義？這是2012年辛辛那提大學醫學院神經心理學家迪特里希（Kim Dietrich）協助美國疾病防制中心（CDC）所制定的官方門檻數值；他解釋道，訂立這個數值是根據公衛領域所謂的「預警原則」概念：當某一種狀況會造成傷害威脅時，即使科學家尚未完全確立因果關係，都應該採取行動加以阻止。迪特里希說：「這不代表孩童血鉛濃度高於門檻數值就會鉛中毒。對於暴露於鉛環境的影響，目前研究不多，並且沒有任何數據提到，短期暴露在鉛濃度低的環境下會對健康產生負面影響。」事實上，他說會選定5μg/dL，是因為97.5%的幼童血鉛濃度都低於這個數值，而不代表達到這個濃度時就會造成永久性的傷害。

有些研究雖然找到血鉛濃度與認知功能障礙的關聯，但還沒有人真正確立因果關係。凱斯西儲大學的社會學家費雪（Robert Fischer）是研究學習評估的專家，數十年來一直在關注鉛污染的問題。他說，這些研究不斷受到其他影響認知表現的環境因素所干擾，因為「暴露於鉛環境也與極端貧窮、社會資源稀少以及就讀於缺乏資源的學校有關。」他並提到，有這麼多交互影響的因素存在，幾乎不可能一一釐清。

發表在2013年《神經毒物學》期刊的一篇論文，對血鉛濃度超過17μg/dL的孩童進行詳盡的研究，並對鉛長期影響孩童認知功能的關聯性下了這樣的結論：「究竟是鉛暴露、還是幼年時期的其他干擾因素造成這種關聯，目前還不清楚。」達特茅斯–希區考克醫



學中心研究臨床試驗設計的醫師帕拉迪斯（Norman Paradis）說，有這麼多變數相互影響，很不容易得出明確的統計結果。

血鉛濃度如何影響大腦，也可能因大腦外圍的血腦障壁結構的阻隔能力有所不同。長期暴露在高濃度的鉛，例如遠超過5~10μg/dL，的確會削弱血腦障壁。根據加州大學舊金山分校的內分泌學家帕德瑞吉（William Pardridge）的說法，難以判斷弗特林孩童的血鉛濃度是否也會影響血腦障壁。帕德瑞吉長期研究血腦障壁，寫了五本書與超過400多篇有關血腦障壁的期刊論文。他說，血液裡的鉛大多由紅血球攜帶，而紅血球無法穿越血腦障壁，因此能夠透過血液輸送到腦部的鉛很少，其主要來自鉛含量少得多的血漿。

說的也是，1993年《神經毒物學》的一項研究發現，雖然對於幼童與大鼠幼鼠來說，嚴重鉛中毒可能會傷害血腦障壁，但並沒有任何證據指出，低於80μg/dL的血鉛濃度會傷害、甚至干擾血腦障壁。鉛或許有辦法穿越血腦障壁進入腦部，但頂多佔血鉛濃度的一小部份而已。

豐富環境刺激減輕不良影響

不過，弗林特的赫爾利兒童醫院小兒公衛倡議計畫的主任兼小兒科醫師漢娜–阿提修（Mona Hanna-Attisha）擔憂，任何與鉛（不管濃度有多高）有關的認知功能障礙，似乎都會因貧窮而變得更嚴重，而弗林特居民普遍貧窮，漢娜–阿提修在給我的電子郵件中寫道：「沒人能說這些孩童一定會出現問題，大部份孩童應該都不會有問題。但我們不能光坐著等，看哪個小孩狀況變好、哪個變差，我們正試著建立一套涵蓋營養、教育與衛生的健全綜合服務，以改善生活在鉛污染環境可能造成的影響。」

加拿大多倫多大學公衛學院的院長胡（Howard Hu），發表許多有關鉛污染效應的論文，他認同暴露於鉛環境與社會不平等有相互關係並帶來負面影響，並提出策略。他說：「某些孩童勢必比其他孩童更容易受到鉛的影響，我們正開始注意這種個體差異。」他補充道，值得期待的是「良好的家庭環境、學校教育以及營養能改善暴露於鉛環境的影響。」

包括胡等幾名科學家發現，缺乏某些營養素例如鐵、鈣或鋅，會促進身體吸收鉛的能力而增加血鉛濃度的風險。胡指出，確定孩童攝取足量的必需營養素可以降低血鉛濃度增加的風險。但飲食習慣只是這複雜問題的其中一個影響因子，孩童缺乏心智刺激，例如很少受到大人關愛、或是就讀於缺乏資源的學校，似乎也會加劇血鉛的影響力，不過科學家目前仍不確定鉛與環境影響孰重孰輕。

雖然尚無法進行人體實驗，但動物研究顯示，心智刺激豐富的環境也許可彌補鉛引起的腦部損傷。加拿大西門菲沙大學的公衛學家蘭菲爾（Bruce Lanphear），是某項研究胎兒及幼年暴露於鉛與其他神經毒性化學物質的主要研究人員，他說：「大鼠的研究指出，環境刺激可以減輕暴露於鉛的不良效應。」早期研究指出，暴露於鉛環境的動物，若同時提供豐富的心智刺激（例如與其他大鼠同籠、水迷宮以及運動跑輪等），出現的問題比沒有豐富環境刺激的對照組來得少。

喬治亞州立大學公衛學院的環境衛生部主任修拉特（Stuart Shalat）說，最佳辦法是讓暴露於鉛環境的程度降至最小並改善生活環境。修拉特說：「我們應該要進行評估並努力讓暴露於鉛環境的程度降低至最小，但當孩童真的暴露於鉛環境時，目前有越來越多證據指出，這種毒性影響有些可透過一般性做法來加以改善。眼前我們必須做的是，盡我們所能讓每位孩童都有機會發展他們的潛力。」（黃榮棋 譯）SA

Illustration by Christina Ung

打打電玩 強健大腦

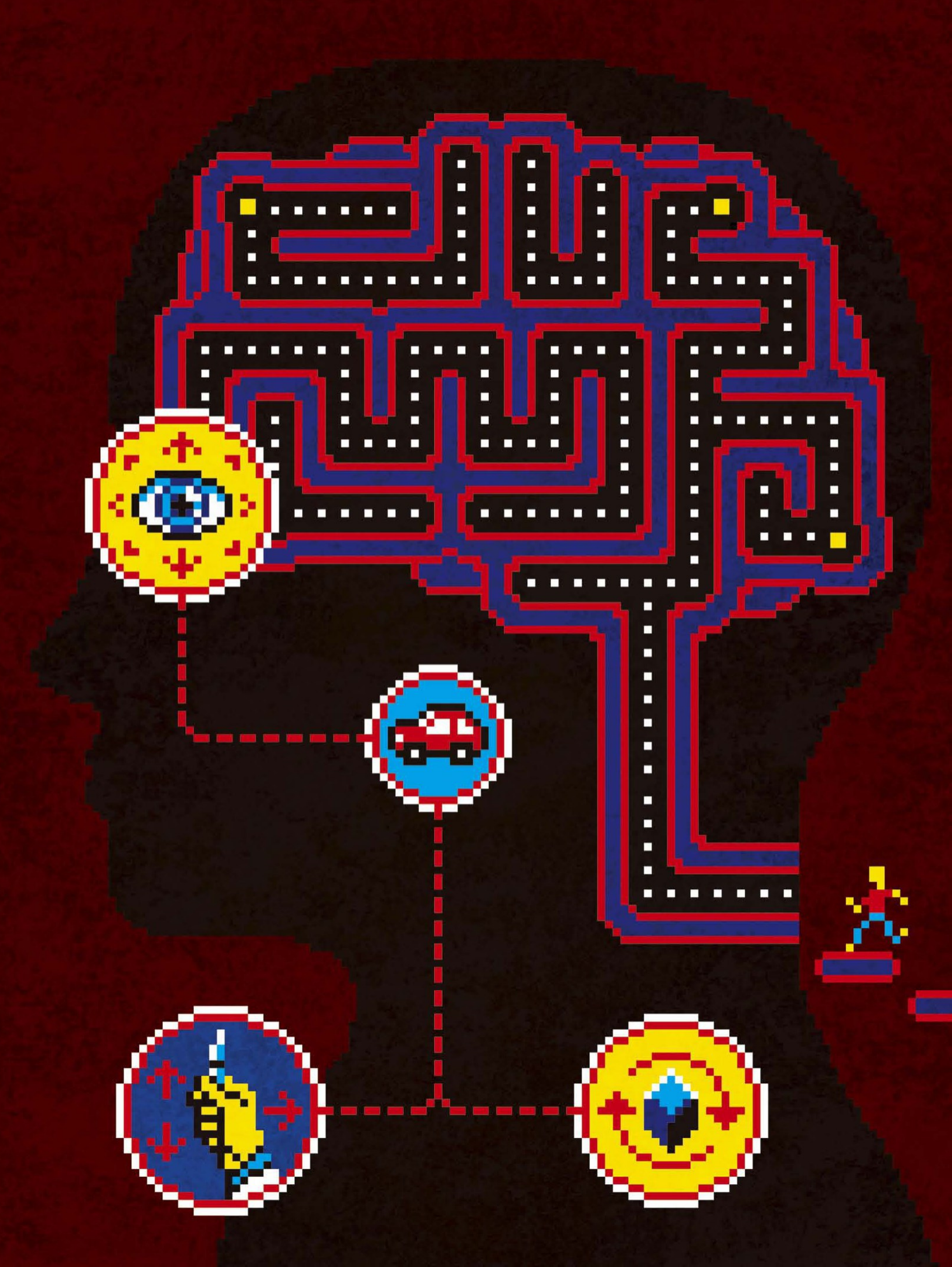
射擊殭屍、殲滅魔怪……這些打打殺殺的動作類型電玩，竟然能夠提升認知功能！科學家分析並參考市面上娛樂電玩的遊戲設計，致力開發適合認知功能障礙患者的醫療用電玩。

撰文／巴佛利爾（Daphne Bavelier）、格林（C. Shawn Green）
翻譯／謝伯讓

重點提要

- 一般人很少認為節奏快速的射擊遊戲稱得上是一種提升腦力的活動。但是過去15年的一些研究發現，經常玩此類電玩可以對認知功能的許多不同面向產生正面效益。
- 電玩遊戲似乎可訓練並提升多種心智能力，包括注意力、在多種活動間彈性轉換、想像某物體翻轉後各角度的模樣，以及快速處理資訊的能力。這些效益已在嚴謹的實驗中證實。
- 關於電玩是否會增長攻擊行為或導致成癮，憂慮依然存在。現在研究人員已經知道電玩如何增強某些心智能力，並且開始設計非暴力的動作遊戲來幫助認知功能障礙患者。

Illustration by Jude Buffum






巴佛利爾（Daphne Bavelier）
瑞士日內瓦大學心理與教育科學系教授，同時也是美國羅徹斯特大學腦與認知科學系教授。

格林（C. Shawn Green）
美國威斯康辛大學麥迪遜分校心理系助理教授。

1990年代後期，我們在美國羅徹斯特大學進行了幾項研究，試圖探索當時一個非正統想法：成人大腦也可以長出新的腦細胞或根據新的經驗重新產生連結，也就是所謂的神經可塑性。當時本文作者之一格林是此系列研究計畫中的大學部研究助理，時年只有18歲。他設計了一套電腦化的心理測驗，評量受試者在雜亂的視覺景象中搜尋某個特定形狀時的表現。

格林首先測試了自己的表現。測驗結束後，他堅信電腦程式中一定有某個他一直找不到的錯誤，根據過去發表的研究結果，這類的測驗表現應該不可能達到完美，但是格林卻一直拿到滿分。於是格林的指導教授巴佛利爾（本文另一位作者）說：「不然你別再測試自己了，找沒接觸過這套測驗的受試者來吧。」

幾天後，格林發現新召募的受試者也有完美的表現。為了追根究柢，巴佛利爾自己也進行該項測驗，結果表現只算得上差強人意，事實上，她的表現一如預期，就和文獻中的平均值幾乎相同。巴佛利爾問格林，那些受試者是誰？格林說他們是自己的好朋友。

研究團隊花了一些時間探究格林和他的朋友為什麼表現這麼好？最後發現一個關鍵：他們每個人都曾每星期花超過10小時玩當時剛上市的一款電玩「絕地要塞」。這馬上就讓我們想到一個有趣的問題：常玩「不用花心思」的電玩遊戲（遊戲主要目標是在打擊殭屍、外星生物、怪獸和壞人）真的可以大幅提升某項認知功能嗎？最初我們只想尋找電腦程式的錯誤，卻因此啟動了一項全新計畫——研究電玩對大腦和行為的影響。

當我們剛開始研究時，幾乎沒有科學家認為節奏快速的射擊遊戲可以有效提升腦力。但是過去15年來，我們以及世界各地其他實驗室的研究都已證實，動作遊戲可以提升某些面向的認知功能。

我們的研究發現，時常玩動作遊戲的玩家較能專注於視覺細節，這項能力可以幫助他們閱讀法律文件或處方藥瓶上的細小文字；在視覺對比上，他們也有較高的敏感度，可以在開車穿越濃霧時派上用場；憑空想像某物體翻轉時（稱為心像旋轉），這些人也較能精確知道從各角度觀看此物體會是什麼模樣，因此擅於判斷一張奇形怪狀的沙發能否擠進已裝載許多物品的搬家貨車；在餐桌上一邊看菜單、一邊與朋友聊天，這種多工轉換的情況對他們來說也比較容易因應。

此外，面對突發事件的反應能力，也會隨著玩電玩的時間增多而增強，例如受試者玩動作遊戲後，測驗的反應時間變快了10%。電玩甚至可以成為生活教練，幫助我們面對職場的挑戰，例如可能有助於在壓力下做出正確決策，而這正是許多職業需要的能力。一項研究指出，腹腔鏡手術醫師如果也是電玩遊戲玩家，他們能較快完成手術並兼顧精確度。

許多人可能會很訝異，電玩竟然可做為一種學習工具，不過關於這方面的研究相對較少，最近的研究也還無法證實一些負面效應，但是大家仍然十分憂心電玩是否會助長攻擊行為或導致成癮。現在研究人員發現，有些電玩能提升認知功能，原因在於它們可以增強注意力和縮短反應時間，因此研究人員也開始針對腦傷病患和認知功能障礙者設計非暴力電玩；事實上，這種軟體可能比市面上宣稱可透過電視或網路來提升認知功能的「腦力開發遊戲」更有效。

有效提升注意力

對於喜歡玩「決勝時刻」或其他動作遊戲的玩家，一般人的刻板印象是他們應該很衝動且容易分心。我們的研究結果和這種過時的印象並不一致：喜歡沉浸在節奏快速的數位幻想世界中的玩家，認知功能反而有所提升。

我們的許多研究著眼於動作遊戲如何影響玩家的注意力，也就是在環境中尋找相關資訊的心智活動。自從心理學在19世紀成為一門社會科學後，關於注意力的研究從來沒有中斷過。「決勝時刻」和「榮譽勳章」這兩款遊戲現在已成為研究機構的研究工具，因為玩家在遊戲中偵測潛藏的敵人時，必須時常轉換他們的注意力狀態，也就是說，玩家必須主動在心理學家所謂的「集中式注意力」和「分散式注意力」之間進行轉換。

這些研究顯示，為了擊敗成千上萬的殭屍，玩家必須抑制讓人分心的訊息才不會喪命。更精確來說，玩家比一般人更容易偵測到目標，並且能在節奏快速的遊戲過程中避免自己不受任何單一事件影響而分心：一個殭屍之後總會有更多殭屍，如果玩家只專注在其中一個敵

[遊戲介紹]

遊戲百百款，你玩對了嗎？

電玩遊戲類型極其複雜且不斷演變，目前普遍認同的分類超過10種，包括動作、體育模擬、家庭同樂等，其中還分成上百種子類型，例如戰略遊戲分為即時戰略、回合制戰略和4X戰略（譯註：包含探索、擴張、掠奪和殲滅四大要素），林林總總超過上萬種獨特遊戲。

在研究電玩對認知功能的影響時，大多數研究都特別著眼於其中一種類型：動作遊戲，這類遊戲主要包含第一人稱（遊戲主角的視角）和第三人稱（從主角背後或上方鳥瞰的視角）的射擊遊戲，例如「決勝時刻」或「戰爭機器」系列，也有其他歸類為動作冒險（例如「俠盜獵車手」）、動作賽車（例如「橫衝直撞」）以及動作角色扮演（例如「質量效應」）等遊戲。

雖然動作遊戲最能夠增進知覺、注意力或各種認知功能，但是以下的研究結果顯示，這類遊戲並不是唯一可帶來娛樂又同時提升認知功能的遊戲類型。關於體育、即時戰略以及動作角色扮演遊戲的研究顯示，它們和動作遊戲一樣都可以增強某些認知功能。此外，有些遊戲不會影響認知功能，但可能有助於社交行為和提升同理心；研究社交遊戲的研究人員傾向以不同方式區分遊戲，例如分成暴力和非暴力兩大類。



動作遊戲：這類遊戲有許多子類型，例如射擊和動作冒險遊戲。關於電玩對認知功能的影響，大多數研究都著重在動作遊戲，研究證實動作遊戲可提升多種認知功能，並可能有助於應用到工作和其他活動。



即時戰略遊戲：例如「星海爭霸」，遊戲背景涉及星際種族戰爭的科幻軍事故事。這類遊戲可增進認知彈性，也就是在各種活動之間的轉換能力。



三維解謎遊戲：例如「傳送門二代」，遊戲目標是透過各種不同工具尋找出口。此類遊戲玩家的解決問題能力、空間能力以及毅力都明顯優於玩腦力開發遊戲「Lumisity」的對照組玩家。



社交遊戲：《人格與社會心理學公報》在2009年的一篇文獻回顧中提到，許多國家的年輕人玩了必須在遊戲中幫助他人的「社交遊戲」後，在現實世界中會表現出較多合作行為。

COURTESY OF ACTIVISION (*Call of Duty: Black Ops III*); COURTESY OF BLIZZARD (*StarCraft II: Heart of the Swarm*); COURTESY OF VALVE CORPORATION (*Portal 2*); COURTESY OF 2K GAMES (*City Crisis*)

人身上，可能就會被其他敵人圍攻。

在一項研究中，我們使用了一種著名的心理測驗方式來檢測動作遊戲玩家是否有較佳的注意力技巧。這項測驗讓受試者觀看一連串字母，其中偶爾夾雜數字，每個字母或數字只在螢幕上閃現100毫秒，比眨眼的速度還快。不常玩電玩的受試者對於發現第一個出現的數字通常不會有困難，但是如果第二個數字和第一個出現的時間點很接近，往往不會注意到第二個數字，這種現象在心理學稱為「注意力瞬盲」（attentional blink）。不過，有些遊戲經驗豐富的動作遊戲玩家不會出現這樣的瞬盲現象，他們可以察覺到每一個出現的數字。

腦造影研究顯示出更多玩動作遊戲的益處。與其他遊戲類型的玩家相比，動作遊戲玩家的大腦皮質中，有許多負責調控注意力的腦區出現較多神經活動變化，包括可維持注意力的背外側前額葉皮質、負責在不同目標間轉換注意力焦點的頂葉和監測自身行為的扣帶皮質。

玩得多不如玩得巧

動作遊戲玩家從「橫衝直撞」和「俠盜獵車手」中獲得的益處，不只是提升注意力，當他們的技術越高超，就越能迅速處理遊戲中快速出現的一連串事件。對心理學家來說，資訊處理速度是認知運作效率的一項重要指標，而動作遊戲似乎可做為加快人們反應速度的極佳工具。玩家必須決定眼前的移動物體究竟是敵是友，並且決定使用哪一種武器、朝哪裡射擊以及何時射擊，這一切都只發生在瞬間。

有效調控注意力會對其他型式的神經訊息處理產生漣漪效應：可以讓大腦擷取出與當下活動和事物相關的更多視覺、聽覺及其他訊息，同時排除會導致分心的雜訊；在最高階的認知處理過程中，這項能力也可以幫助我們在多種活動間轉移注意力時展現高度彈性。這些結果不只展現在實驗室中；調控注意力的能力越好，越能幫助人們適應新的情境，並且全面提升學習速度。

如果想對電玩效益下明確的結論，就必須先提供確實的證據，而且還要證明電玩是提升玩家注意力和反應能力的原因。畢竟，有可能是這些遊戲原本就吸引注意力絕佳的人，因此這些人在之後的遊戲或認知測驗上，當然有較佳的表現。

為了檢驗因果關係，科學家找來一群幾乎沒有玩過任何電玩的受試者，並讓他們接受認知測驗，之後把這些受試者隨機分成兩組，一組玩動作遊戲，對照組則玩社交類型的電玩遊戲或另一種非動作類型的遊戲。研究

人員要求每組受試者每星期玩五天、每天玩一小時，並持續數星期。在持續訓練數天後，受試者再度接受之前的認知測驗，結果發現，與對照組相比，動作遊戲組的認知表現都明顯進步了。

對照研究（controlled study）讓研究人員得以排除可能導致受試者測驗表現變好的變因（例如先做過心理測驗，下次再接受相同測驗的表現通常會變好）。這些研究也顯示，並非所有類型的電玩遊戲都有同樣效果；強調注意力、認知彈性和速度的動作遊戲，認知效益較為明顯，玩非動作類型的遊戲不需要使用這些能力，因此幫助不大。雖然動作遊戲可能有效提升認知功能，但是這些研究並沒有為毫無節制的電玩行為背書，人們不必沉溺於電玩才能提升認知功能，在我們的實驗中，受試者每日只需短暫的遊戲時間就能有所助益。

其他類型的電玩，例如「質量效應」這類的動作角色扮演遊戲以及「星海爭霸」這類的即時戰略遊戲，也會產生類似的認知效益。諷刺的是，市面上宣稱可以改善認知功能障礙或提升心智功能至平均水準的「腦力開發遊戲」，很少（如果有的話）能夠真正達到其功效。早期的腦力開發遊戲多半是由無趣的心理學實驗加上遊戲界面或音效所「佯裝」出來，無法展現任何可廣泛提升認知功能的效果。在某項特定的心理測驗表現變好，應該無法幫助你在超市中規劃出最有效率的購物路徑，也沒辦法讓你想起究竟車鑰匙遺忘在哪裡。

即使動作遊戲從來就不是設計來當做教學工具，它們其實具有許多幫助學習的要素，例如它們很有趣，但人們往往忽略了這項基本的教學前提。

遊戲設計人員通常會把遊戲內容仔細區分成不同階段和層級，例如敵人數量會隨遊戲進展而增加，當玩家經過足夠的練習而逐漸熟悉遊戲技巧，便會保持興趣。重點是，隨著遊戲過程不斷進展，玩家要在集中式注意力活動和分散式注意力活動之間進行轉換，因此必須展現高度的注意力調控能力。

這些遊戲創造出具有豐富刺激的環境，各種挑戰不停出現、不斷把玩家擠出舒適圈，最後還會有不同時間長度的要求，例如幾秒內擊敗一個敵人、幾分鐘內完成一項任務、幾小時內突破一關或打贏一場戰役、幾天內完成整個遊戲，達成便給予獎勵，促使玩家進行時間規劃。這些遊戲讓玩家感覺受到鼓勵，促進學習意願，並有助於玩家把這些經驗應用到真實生活中的各種情境，例如科學或數學課需要較佳的心像旋轉能力、或在路上看到有小孩衝出來撿球時必須快速踩下煞車。

[測驗項目]

有玩有差，怎知道？

為了確定動作遊戲能否增強知覺和其他認知功能（也就是必須確定效益來自遊戲而非其他變因），研究人員比較了兩組受試者在接受遊戲訓練前後的認知測驗表現（一組接受動作遊戲訓練數星期，對照組則接受非動作遊戲訓練），發現動作遊戲組比對照組明顯進步許多，而且這樣的認知效益持續五個月以上。

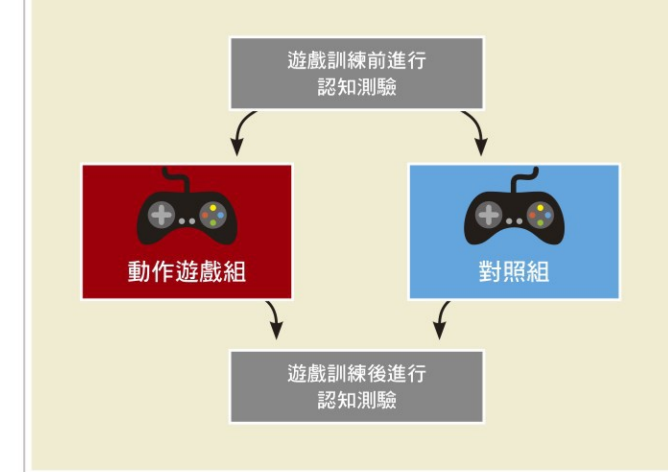


Illustration by Jen Christiansen

SOURCE: "BRAIN PLASTICITY THROUGH THE LIFE SPAN: LEARNING TO LEARN AND ACTION VIDEO GAMES," BY DAPHNE BAVELIER ET AL., IN *ANNUAL REVIEW OF NEUROSCIENCE*, VOL. 35; JULY 2012

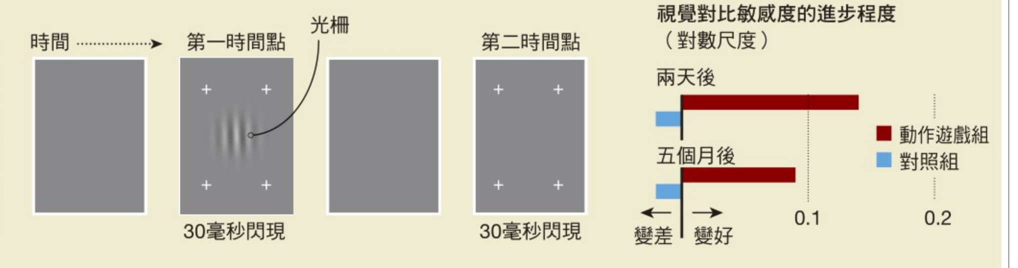
開發真正增強腦力的電玩

研究人員已經開始參考商業化電玩遊戲的特色與內容模式，設計出不同於無趣心理學實驗的新一代醫療用電玩。許多公司也嘗試開發電玩做為臨床醫療工具，有些公司想發展診斷工具、有些則是發展真正的治療方法。例如新創公司Akili Interactive（巴佛利爾是該公司共同創辦人兼顧問）正根據一款名為「NeuroRacer」的研究用遊戲來發展醫療用電玩，希望能提升注意力並減少分心；這款遊戲和其他一些遊戲旨在治療臨床病患，例如患有注意力不足症的兒童或出現早期認知衰退症狀的年長族群等。我們還需要時間，才能讓大眾接受這些電玩遊戲，畢竟，如果想要成為臨床治療工具，這些醫療用電玩及其宣稱的成效就必須先接受主管機關或廣大科學社群等獨立機構的檢驗。

雖然動作遊戲提供了發展醫療用電玩的基礎，但這類遊戲仍有一些缺陷必須正視。首先，遊戲必須根據病患量身訂做。許多注意力不足症患者在玩一般的動作遊戲後，症狀不會明顯改善，儘管這些遊戲確實能提升一般受試者的注意力。這是因為一般受試者在玩遊戲時，大多會在心中事先模擬各種可能狀況來幫助他們因應接

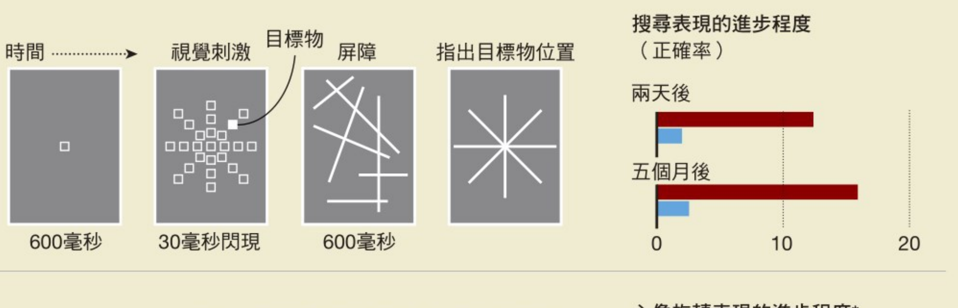
即時偵測目標物

這項視覺對比敏感度測驗，目的在測試人們偵測電腦螢幕上明暗對比細微差異的能力。受試者在觀察兩個時間點的螢幕影像後，必須指出哪一個時間點的螢幕上出現光柵（由明暗相間的條紋所構成）；光柵的明暗對比度會改變，以測試受試者所能看見的最低對比度。



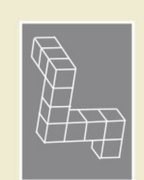
快速找到目標物

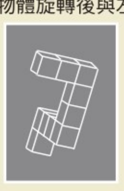
這個測驗項目名為「有用的視野測試」（the useful field of view task），測試的是空間注意力，或可說是在瞬間出現的複雜影像中快速尋找目標物並同時忽略干擾物的能力。右圖中，受試者必須找到實心方塊（目標物）並在出現屏障後指出其位置。

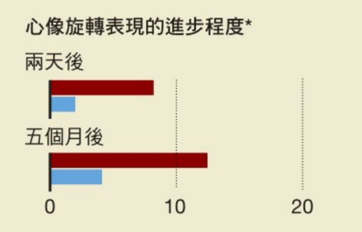


想像物體翻轉

這項「心像旋轉」測驗目標是要求受試者判斷右側三個物體中哪一個和最左側的物體相同，藉此測試其空間視覺能力。





＊以正確次數的平方根表示

下來可能發生的事，然而注意力不足症患者採取較為被動的遊戲方式，比較不容易在心中想像並預測未來事件。遊戲開發人員正嘗試重新調整傳統動作遊戲的型式，以刺激注意力不足的玩家採取較主動的態度去做出反應。

有些想要改善老年人反應時間（或開車技術）的遊戲，也需要透過類似的方法來重新設計，只有玩「榮譽勳章」是不夠的。在年輕人玩的大多數動作遊戲中，其瘋狂的遊戲節奏會讓老年人吃不消，因此市面上這些這些遊戲若未經修改，無法提升老年人的認知功能；遊戲必須根據老年人的需求來調整，節奏必須適中，才會具有挑戰性同時難度又不會太高。此外，降低遊戲難度對於提升弱視患者的視力也是必要的（弱視患者是遊戲開發人員的另一個目標族群）。

最後，當用於臨床醫療時，必須刪減許多電玩的暴力內容：車子開出車道後停下來是理所當然，但發生車禍時屍塊在空中四處飛散就「太超過」了。如果想要從射擊殭屍演變成能夠產生真正的醫療成效，研究學習歷程、心理學和神經科學的科學家就必須與動畫師、遊戲製作人和遊戲設計人員合作，創造出吸引人的內容。

我們的研究團隊最初由「絕地要塞」得到的靈感，仍有許多待開發的可能性，例如用來治療閱讀障礙兒童或腦傷病人的遊戲，或許能進一步透過腦波感測器根據個別狀況自動調整遊戲難度。和發展這類科技一樣重要的是，我們能否根據玩家認知功能的長處或缺陷調整遊戲內容及所需技巧。敏銳因應不同族群的需求，是下一代腦力開發遊戲能否成功的重要關鍵。SA

謝伯讓是美國達特茅斯學院認知科學博士，麻省理工學院腦與認知科學系博士後研究員。現為杜克–新加坡國立大學醫學院助理教授、腦與意識實驗室主任，研究主題為人腦如何感知世界。在臉書專頁「謝伯讓的腦科學世界」中定期分享腦科學趣聞，著有《都是大腦搞的鬼》。

延伸閱讀

Brain Plasticity through the Life Span: Learning to Learn and Action Video Games. Daphne Bavelier et al. in *Annual Review of Neuroscience*, Vol. 35, pages 391–416; July 2012.

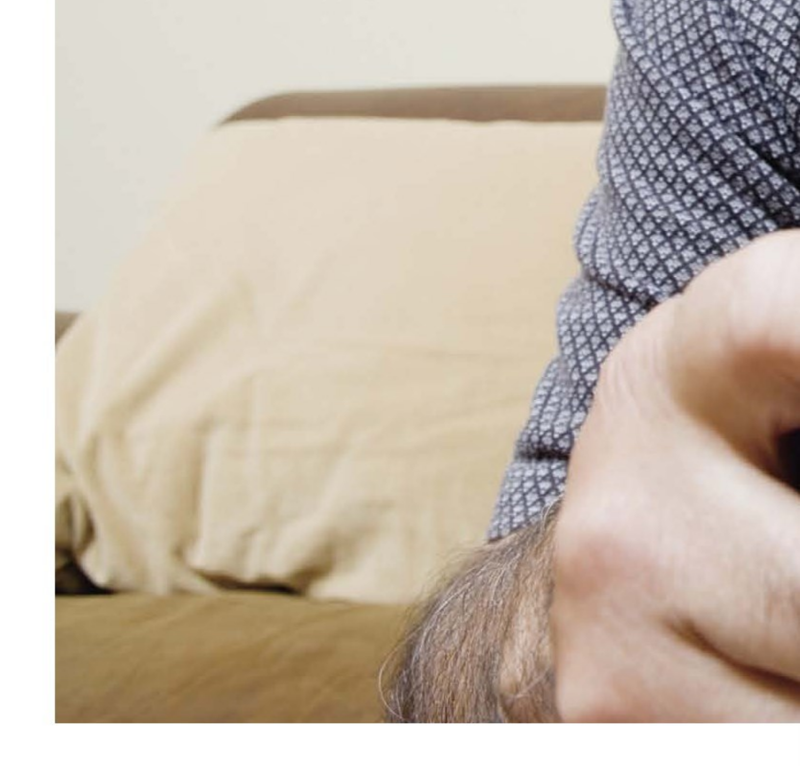
Video Game Training Enhances Cognitive Control in Older Adults. J. A. Anguera et al. in *Nature*, Vol. 501, pages 97–101; September 5, 2013.

觀看格林（C. Shawn Green）在美國威斯康辛州立大學麥迪遜分校針對電玩和學習所開設的大規模開放式線上課程，請見網站：**http://greenlab.psych.wisc.edu**

打電動的大腦不會變老？

要活就要動，不只身體，腦筋也要常「活動」，打電動對於認知功能的影響是近來熱門話題，甚至有延緩大腦老化一說，到底認知神經科學家怎麼看這些電玩遊戲的效益？

撰文／李如蕙、張智宏



高齡化社會來臨讓我們越來越重視老化的問題，如何有效進行老年人的認知訓練以延緩老化的認知衰退，是全球都關注的議題。

現今市面上充斥各式各樣的行動載具應用軟體及線上遊戲，宣稱可增進腦力開發、甚至預防失智症。然而，哪些電玩遊戲或訓練可增進哪些認知功能，不是廣告說了算，必須有嚴謹的科學研究證據支持，所謂的效果可能也會因遊戲或訓練材料的內容、獎酬設計等特性而有差異，必須仔細解讀與檢視。

神經可塑性成就認知訓練效益

首先我們需要討論的是，大腦神經迴路真的能夠重新設定嗎？加拿大知名科學家多吉（Norman Doidge）在《改變是大腦的天性》及《自癒是大腦的本能》書中對於大腦神經可塑性提出許多說明，所謂神經可塑性是透過學習誘發或與經驗依存所產生的神經組織及功能性連結的改變；基於這項前提，支持大腦神經可塑性的學者認為，無論是在兒童發展時期、過了發展敏感期的成年時期或老年時期，都能夠透過學習或日常生活的經驗及習慣，來改變大腦特定認知功能皮質的灰質體積或密度、白質連結的完整度以及神經網路有效同步運作的強度，從而增進認知處理的功能及效率。

隨著研究證據的累積，「終生都有神經認知可塑性」的觀點已逐漸普及，大眾對於如何經由學習或訓練來提升大腦認知功能開始產生興趣，尤其對於能提升學習動機的遊戲式學習或訓練，更是寄予厚望。

那麼這些「遊戲」是否真的有增進認知功能的作用？回顧關於認知功能的文獻，我們可看到訓練效果會隨遊戲性質而改變，舉例來說，射擊遊戲提升了視覺注



影像來源：達志影像

意力；賽車遊戲提升了能夠同時控制車輛行進方向和速度的多工作業轉換能力，達到所謂的作業特定效果；某些特定的低階認知訓練可提升與該項作業能力相關的高階認知功能，達到所謂的作業普遍性效果。

如同42頁〈打打電玩 強健大腦〉所述，瑞士日內瓦大學的心理學家巴佛利爾（Daphne Bavelier）等人也強調，遊戲式學習能夠強化學習力（learning to learn）是因為受訓練者能夠從訓練情境中掌握與解題相關的訊息並且辨識問題結構，進而把這些能力「遷移」（transfer）並應用到對新事物的反應上。

有一些支持遷移效果的基本假設，是低階認知作業例如感知學習（perceptual learning）能改變認知處理的神經機制，來提升屬於高階認知功能的工作記憶（把資訊暫存以便即時提取或加以處理的認知歷程，訊息於其中反覆處理後可形成長期記憶）。例如，美國加州大學舊金山分校的遊戲式訓練專家葛詹利（Adam

Gazzaley）的研究團隊發現，讓健康老年人練習辨別螢幕上一閃而過的群點運動軌跡方向，能夠增強他們的視覺區辨敏感度和工作記憶，在後續進行回憶比對測驗的正確率，也比沒有經過訓練的受試者來得高；他們比較訓練前後的腦電圖（EEG），發現在訓練後與視覺初期編碼作業相對應的大腦神經皮質活化反應增強，表示視覺區辨敏感度提升了，同時，敏感度的提升程度也與工作記憶表現呈現正相關。

但是，對於低階認知作業的學習效果遷移到高階認知功能，這樣的機制是否成立，還有爭議。其他研究，例如讓老年人進行真偽辨識作業的記憶訓練，也就是判定螢幕上看到的圖像是否在先前作業中曾經出現，則沒有看到訓練遷移的效果，這可能是因為進行訓練的作業題材有其局限性，未能廣泛影響到其他未受訓練的能力所需的運作機制。

什麼樣的遊戲設計好玩又有效？

葛詹利指出，電玩遊戲內容由易漸難、具教育性的回饋以及沉浸式的遊戲情境，都有助於突破當下認知功能的限制。此外，遊戲式訓練成效的關鍵，在於遊戲能否影響認知處理機制，而許多認知功能都與工作記憶有關，因此工作記憶的訓練效果普遍受到關注及檢驗。除了遊戲本身的內容特性會對訓練效果產生影響之外，研究人員發現，比起密集式訓練排程，分散式訓練有較佳的學習成效。

然而遊戲式訓練著重的不只是有效，還要有趣。要把訓練項目融入有趣的遊戲中並不容易，好比把苦口良藥用誘人的糖衣包裹，看來香甜誘人，但嚐起來還是苦的！有些遊戲過於著重認知訓練的效益，於是設計出來的遊戲往往就不好玩，反之，有些好玩的遊戲讓受訓練者耗費太多認知負荷（cognitive load）在不必要的作業上，或容易受到與學習不相關的因素干擾而分心，使訓練成效大打折扣。

獎酬（reward）是常見促進遊戲趣味的元素，許多研究已證實獎酬會促進腦內傳遞快樂及興奮情緒的神經傳遞物多巴胺分泌，有助建構新的行為習慣。遊戲訓練後提升了對遊戲獎酬的敏感度，並且伴隨在大腦腹側紋狀體（ventral striatum）有較大的活化程度。不僅如此，遊戲通常引發短期的正腎上腺素分泌，提升神經系統活化程度，進而提升注意力和記憶編碼的作業表現。但是，這樣的訓練效果有個體差異，例如不同年齡或精神疾病患者，訓練效果也有所不同。

此外，遊戲的獎酬設計方式也會影響訓練效果，例如即時呈現遊戲得分看似能夠提升動機，有時反而增加認知負荷，不利學習。因此，遵循已經驗證的訓練準則來設計遊戲，較為可靠。

綜合來說，理想的遊戲式學習設計，應該具備順應受訓練者特性的互動機制，依照個體差異即時調整獎酬類型、獎酬反應性及神經活化程度。

要真正做到適性化（adaptive）設計，必須隨時監測訓練過程中受訓練者的行為反應以及神經訊號回饋，並進行腦頻譜分析，再反饋輸入遊戲機制中，透過遊戲軟體中的機器學習和深度學習演算法，即時呈現最能促成受訓練者「正向增強」（positive reinforcement）的訓練模組。

上述方法需要基礎認知神經科學研究去釐清與遊戲訓練相關的注意力、工作記憶和認知控制對應的腦區及神經網路，甚至直接在這些特定腦區或神經網路施以電刺激調節其運作；例如利用跨顱直流電刺激（transcranial direct current stimulation, tDCS）的正極電流短暫刺激前額葉，能有效改善衝動控制行為。

目前，結合神經回饋系統和跨顱電刺激並反覆進行的做法正方興未艾。許多研究顯示，這樣的訓練方式可維持大腦神經活化並促進訓練效能，不過仍有待更多嚴謹的實驗進一步驗證。

重 點 提 要

- ■越來越多的研究證據顯示，人的大腦一生中都具有神經可塑性。隨著高齡化社會的來臨，學界和大眾對於如何透過電玩遊戲或相關訓練有效延緩老化的認知衰退，產生濃厚興趣。
- ■電玩遊戲的設計包括內容特性、訓練排程、趣味性、難度調控、獎酬方式等，都對訓練效果有重要影響。
- ■遊戲若納入適性化設計，例如考量使用者的文化背景和生活型態等環境因素以及個體差異，便能夠讓認知訓練更具效益。



李如蕙
台灣師範大學資訊教育研究所博士候選人，主要研究行動科技輔助語言學習、學習的認知神經機制、第二語言學習。



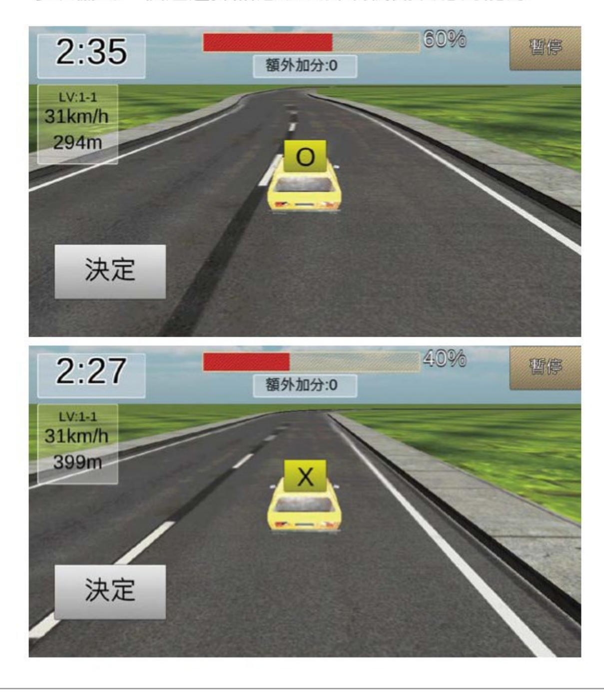
張智宏
中央大學認知神經科學研究所副教授，主要研究人類動作控制與學習、認知老化與訓練，以及應用神經造影技術探討上述主題的腦部機制。

影像來源：李如蕙、張智宏

[遊戲操作]

是遊戲也是訓練

許多機構積極開發提升認知功能的電玩遊戲，例如中央大學行動與認知實驗室正開發一款遊戲Mocog，在其中的「〇Ｘ」模式下，使用者必須一邊擺動手機或平板電腦以維持汽車在車道中央，一邊要在車頂黃色方塊出現「〇」時按下「決定」鍵、出現「Ｘ」時則不按。三分鐘的過程中，每次汽車撞到路邊或按錯決定鍵都會讓螢幕上方的「血量」下降；此遊戲模式可訓練使用者的手眼協調、快速選擇訊息以及抑制衝動反應的能力。



影像來源：中央大學行動與認知實驗室

選擇適合的訓練方案

電玩遊戲設計除了好玩、具有認知效益，強調個人化並兼顧使用者的環境因素等適性化設計也相當重要。

葛詹利的團隊以多工駕駛遊戲「NeuroRacer」訓練老年人，發現這類需要持續在駕駛及訊號偵測作業間進行切換的遊戲訓練，能有效提升老年人的認知功能，並且訓練效果能延續達六個月。此一適性個人化的介入訓練可能增強工作記憶效能及持續性注意力，造成早期感知處理的腦區和大腦前額葉結構和功能上的改變。

由於文化與生活型態在認知衰退過程中也有深遠影響，認知訓練若能考量不同地區老年人的情況，效果可能更佳。

在台灣，由中央研究院認知神經科學實驗室、中央大學認知神經科學研究所、體育大學競技與教練科學研究所以及交通大學生物科技系和腦科學研究中心組成的研究團隊發現，老年人持續規律從事中等強度的有氧運動，對於執行多重作業時相關的切換能力，比低強度有氧運動有更好的減緩衰退效果；另一項研究發現，老年人持續半年每日走一萬步可增進注意力，除了較不易分心，腦部活動型態也較訓練前更近似對照組的年輕人。其他研究團隊利用烹調早餐的情境做為訓練方式，發現可促進認知執行功能。

這些研究結果都可應用於電玩設計，例如在遊戲中加入體適能活動並結合動作偵測技術，透過有趣的情境引導老年人循序漸進練習；這些以「在地化」為腳本的遊戲內容，能讓訓練更有效益。

活到老、學到老才是不二法門

認知訓練研究除了希望讓受訓練者在受訓練的個別作業上進步，也希望能改善未受訓練的能力，也就是產生遷移效果。但是遷移效果產生與否，至今仍有爭議，持正面態度的研究人員指出，在工作記憶訓練、執行控制訓練和持續性專注訓練上確實觀察到遷移效果，且效果能在訓練結束後持續三個月到十年不等，但是也有些研究並沒有發現遷移效果。

這項爭議對一般大眾的具體影響反映在下列案例中：美國的魯莫斯實驗室（Lumos Labs）推出付費使用的大腦訓練電玩遊戲，廣告中宣稱這款遊戲能夠提升日常生活品質和延緩失智症發生；然而因實際使用後效果不彰而遭消費者提告，今年1月，美國法院判定該機構因廣告不實而敗訴，必須賠償所有消費者，總金額達200萬美元。此一判例提醒我們，電玩遊戲對於認知訓練的效用與機制仍有許多待釐清之處，從控制良好的實驗發現到實際應用，之間的鴻溝需要更多巧思投入。

認知老化是長時間且多面向的歷程，因此，減緩甚至逆轉這個歷程沒有單一「靈藥」。目前的科學研究還無法提出完善的對抗認知老化方案，能夠同時適用於不同基因型、生活型態、文化背景等各種個體差異特性。年長者持續學習新事物、維持高活動量以及多從事社交活動，是綜合各領域研究發現最能延緩認知老化的方向。「學到老，樂活到老」，願你我共勉之！SA

延伸閱讀

中央大學行動與認知實驗室開發中的認知功能訓練遊戲Mocog，請見網站：**https://goo.gl/wFiDcK**

〈讓大腦再年輕一次！〉，《科學人》2016年4月號。

〈聰明藥幫大腦快速充電？〉，《科學人》2009年11月號。





Illustration by Kenn Brown, Mondolithic Studios

太陽系的狂亂青春

天文學家從系外行星獲得啟發，太陽系誕生過程可能更戲劇化，
包括四處流浪的行星，以及毫不留情的撞擊與毀滅。

撰文／貝提金（Konstantin Batygin）、勞夫林（Gregory Laughlin）、 莫爾比代利（Alessandro Morbidelli）
翻譯／甘錫安

經過多年的反覆傳誦，我們已經非常熟悉太陽系誕生的故事。數十億年前，尚未成形的太陽系仍是一團緩緩旋轉的烏黑氣體和塵埃。後來這團物質開始塌縮，核心部份形成太陽。一段時間之後，八大行星和小如冥王星的天體逐漸從繞著太陽旋轉的剩餘氣體和碎屑中誕生。太陽和八大行星自此開始在太空中運行，如時鐘般規律又易於預測。

近年來，天文學家卻觀察到一些蛛絲馬跡，足以推翻這個眾所周知的說法。比起其他數千個新發現的太陽系外的行星系統，太陽系有許多不尋常的特徵，包括內側是固態行星、外圍是氣態巨行星，以及水星內側沒有其他行星等。借助電腦模擬，我們逐漸了解太陽系的這些特徵都源自動盪不安的形成初期。那些不尋常的特徵以及形成過程中的劇變和混亂，都超乎我們預期。

太陽系誕生故事的新情節包括了行星被迫離開誕生地四處流浪、迷途行星墜入太陽毀滅，以及孤獨巨行星被拋入冰冷黑暗的近星際空間。天文學家研究這些古老事件和其可能留下的痕跡（例如最近提出的第九行星假說，也就是冥王星軌道之外的區域可能還有尚未發現的行星），除了對太陽系重要的形成時期逐步拼湊出新圖像，也對太陽系身處的宇宙環境有了新認識。

貝提金（Konstantin Batygin）
美國加州理工學院地質與行星科學系助理教授，主要研究領域包括行星系統的形成和動態演化，興趣是拿把吉他製造各種噪音。



勞夫林（Gregory Laughlin）
美國加州大學聖克魯茲分校天文學及天文物理學系教授，研究領域為系外行星的偵測及特性分析，他在www.oklo.org行星（就廣義而言）部落格上的人氣頗旺。

莫爾比代利（Alessandro Morbidelli）
法國尼斯蔚藍海岸天文台的行星科學家，也是法國與比利時科學院院士，曾針對太陽系演化的各個階段提出重要的模型。

太陽系誕生的古典模型

行星是恆星形成過程的副產物，恆星在巨大分子雲（giant molecular cloud）的核心形成，這片分子雲的質量可能高達太陽的一萬倍。密度極大的稠密核區域可能會自行塌縮，形成中心發光的原恆星，周圍環繞一圈不透明的氣體與塵埃，稱為原行星盤（protoplanetary disk）。

數十年來，天文學家一直希望透過太陽的原行星盤，解釋太陽系為何同時具有固態行星和氣態行星兩種截然不同的行星。四顆類地行星的公轉週期介於水星的88個地球日和火星的687個地球日之間，相反地，目前已知的氣態巨行星則位於距離太陽相當遠的軌道，公轉週期介於12~165個地球年，質量則比類地行星還要大150倍以上。

天文學家原本認為這兩類行星的形成過程十分相似。在這類過程中，塵埃微粒在騷動不安的氣體盤內不斷旋轉，互相碰撞並聚集在一起，形成直徑數公里的微行星（planetesimal），狀況類似廚房地板久未打掃：灰塵在氣流和靜電力作用下形成灰塵團。微行星越大，重力越強，在軌道上運行時不斷吸引周圍的碎屑而越變越大。自塵埃雲塌縮後約100萬年，太陽系的原行星盤和宇宙中其他原行星盤一樣，充滿了大小與月球相仿的行星胚胎。

其中最大的胚胎位於現今的小行星帶以外。這裡距離剛形成的太陽較遠，因此原行星盤中的冰不受太陽的光和熱影響，可以繼續存在。在這條「雪線」外的行星胚胎可繼續吞噬大量的冰，因此變得非常龐大。在「富者更富」的情況下，最大的行星胚胎重力較強，很快便吸去原行星盤內鄰近區域大部份的冰、氣體和塵埃，因此成長最快。僅僅約100萬年，這個貪得無厭的胚胎就長成木星。理論天文學家認為，此時是太陽系出現兩類相異結構的重要時刻。木星的成長速度超越太陽系中其他巨行星，必須在木星吞噬所有周圍物質後，其他巨行

重點提要

- 電腦模擬結果和觀測銀河系各處的行星提供了許多新證據，揭露太陽系活躍混亂的形成過程中許多新細節。
- 與其他行星系統相比，太陽系內側是固態行星、外側是氣態巨行星，這種結構相當奇特。
- 太陽系奇特結構的最佳解釋，是數十億年前巨行星曾經出現為時甚長的軌道遷移和動態不穩現象。
- 這些騷動事件可能曾經導致許多行星墜向太陽或飛向星際空間，對了解生命的起源和早期發展十分重要。

星才能吸引氣體、增強重力，因此只能形成較小的行星。太陽系內側的行星誕生在雪線以內，而原行星盤此區域所含的氣體和冰較少，所以體積更小。

除了火星和水星這類極小行星的棘手細節，「木星搶先」的說法似乎已可完整解釋太陽系的結構。環繞其他恆星的系統應該也會符合這項理論：氣態巨行星將出現在雪線之外、公轉週期極長的軌道，固態行星則散佈在公轉週期僅數個地球年的軌道上。然而，這些說法其實不正確。

系外行星現身，引發理論革命

20多年前天文學家開始發現系外行星時，也把太陽系形成理論套用在星系尺度加以驗證。最初發現許多系外行星都是「熱木星」，也就是繞其恆星運行、公轉週期僅數個地球日的氣態巨行星。它們是如此接近其恆星表面這類沒有冰的地方，完全違反以往的行星形成理論。為了解決這個矛盾，理論學家認為這些行星應該先誕生在距離恆星較遠的地方，後來才移動到現在的位置。

此外，依據例如美國航太總署（NASA）克卜勒任務所蒐集的數千顆系外行星資料，天文學家推論類似太陽系的系統其實比較少見，這個結論卻令人困惑。一般行星系統包括至少一顆超級地球（比地球大數倍的行星），公轉週期大多短於100個地球日。相反地，類似木星和土星的巨行星質量僅約為恆星的10%或甚至更小，運行軌道穩定而且接近圓形。

天文學家的期待落空，他們還需要更多證據才能完整解釋古典太陽系形成理論的「少數麻煩細節」。與其他行星系統相比，太陽系內側區域為什麼如此空曠、只有小小的固態行星而沒有超級地球？為何在水星公轉軌道內完全沒有其他行星？巨行星的運行軌道為何如此穩定又分散？

天文學家目前可用原行星盤的流體變動性，來解釋上述古典行星形成理論無法回答的疑問。剛剛誕生的行星就像海上的救生艇，往往會漂到很遠的地方。行星變得更大後，重力引起原行星盤螺旋形的波動，對行星和原行星盤產生強大的各種正、負回饋。同時也發生不可逆的動量和能量交換，使剛誕生的行星在原行星盤內開始遷移。

一旦考慮到行星的遷移過程，行星盤內的雪線就不再是解釋行星系統結構的單一要素。舉例來說，誕生在雪線外的巨行星可能與氣體和塵埃一起繞行恆星，並同時向內側遷移變成熱木星。問題是這種說法太過完美，似乎所有原行星盤都具有這種特性。那麼我們又該如何解釋木星和土星都距離太陽如此遙遠？

大航向

2001年，英國倫敦瑪麗王后大學的麥瑟（Frederic Masset）和史奈爾葛洛夫（Mark Snellgrove）進行的電腦模擬提供了可靠的初步線索。麥瑟和史奈爾葛洛夫建立了木星和土星同時在太陽系原行星盤中演化的模型。土星的質量較小，向內遷移速率比木星快，隨著時間，兩顆行星的距離也會越來越近。最後木星和土星的軌道構成所謂的「平均運動共振」。在這樣的軌道共振中，土星繞行太陽兩次時，木星則繞行太陽三次。

產生平均運動共振的兩顆行星可交換動量和能量，就像行星間在玩拋接球遊戲一樣。由於共振擾動具有

天文學家依據數千顆系外行星資料，推論類似太陽系的系統其實比較少見，這個結論卻令人困惑。

同調性，所以兩顆行星施加的重力對彼此和周遭的影響會變得更大。以木星和土星而言，透過交互作用可把自身質量施加在原行星盤上，在其中清理出巨大的軌道空隙，木星在內、土星在外。此時由於木星質量較大，所以重力對原行星盤內側的影響大於土星對外側的影響。這會使它們逆向運行，開始遠離太陽。這種先內後外的運行方式很像帆船為了迎風航行改變航向，因此通常稱為「大航向」（the Grand Tack）。

大航向的初步概念提出後10年，2011年當時任職法國蔚藍海岸天文台的華爾希（Kevin J. Walsh）等人證明，大航向不僅完整解釋木星和土星過往的動態過程，也說明岩石和冰質小行星的分佈，以及火星質量為何如此之小。木星向內側遷移時，其重力帶動路徑上的微行星，猶如推土機把土鏟起並向前推擠。假設木星曾經移動到現今的火星軌道，再回到現在的位置，則木星可能

把接近地球質量10倍的冰推到地球附近，使地球獲得水和其他揮發性物質。這個過程可能也為原行星盤內側的行星劃出與外側巨行星明確的界線，使鄰近的行星胚胎不再生長，從而形成現在的火星。

木星的大突擊

儘管大航向概念在2011年看來相當具有說服力，但天文學家仍然不了解它與太陽系其他重大奧秘之間的關係，例如水星內側沒有其他行星。其他行星系統的恆星附近往往有多顆超級地球，相比之下，為何太陽周遭卻顯得相當空曠？太陽系結構與宇宙大多數行星系統不同，相當奇怪。

2015年，本文作者貝提金和勞夫林開始研究，如果太陽附近有超級地球，大航向會對它們造成什麼影響。最後我們得出驚人的結論，這類行星根本不可能在大航向之下存在。出乎意料的是，木星的內外遷移不僅解釋現有行星的許多性質，還說明某種行星為何不存在。

木星朝太陽系內側遷移時，對路徑上的微行星來說就像推土機，使它們幾近圓形的單純軌道變得盤旋交錯、雜亂無章。有些微行星以極大的力道碰撞，碎成一片片，引發更多次碰撞並產生碎片。因此，木星向內遷移很可能引發了一連串碰撞，使微行星變回大小石塊和砂礫，數量大幅減少。

原行星盤內側充滿氣體，微行星在碰撞擠壓和氣動阻力的影響下碎裂，能量逐漸散失，軌道急遽縮減，快速繞行並逼近太陽。微行星向內遷移時也很容易產生其他軌道共振，盤據在任何超級地球附近。

對這些超級地球而言，這應該是不幸的消息，它們的軌道能量將因為大群依附的微行星碎屑而散失。這些碎屑遭到原行星盤內的氣體阻礙，原本應該要直接衝向太陽，但因為已經和超級地球形成軌道共振，所以徘徊在原地持續吸取行星的軌道能量，這些能量會再度因為氣動阻力而以熱的型式散失。最後大群破碎的微行星毫不留情把行星推進死亡螺旋：每顆行星的軌道逐漸縮小，一顆顆墜向太陽。我們的模擬結果也顯示，一旦連鎖碰撞開始，有些行星可能無法存在超過數十萬年。

因此，木星和土星的大航向或許的確曾對接近太陽的行星發動「大突擊」（the Grand Attack）。當早期的超級地球墜向太陽時會在原行星盤留下孤寂空曠的區域，範圍約可達100個地球日的公轉週期。結果，木星在早期太陽系的間接突擊造成一圈很細的岩石碎屑環，數億年後這些碎屑才結合成類地行星。一連串偶發事件促成這個精準環環相扣的過程，這樣看來類地行星（或許也包括生命本身）在宇宙中可能十分罕見。

尼斯模型登場

木星和土星衝進太陽系內側又退回外側時，太陽周圍的氣體和塵埃逐漸消散。軌道共振的木星和土星最後遭遇剛形成的天王星和海王星，或許還有另一顆大小相仿的天體。逐漸消散氣體的重力效應，協助能量大的木星和土星把較小的巨行星一起拉進共振群。因此，原行星盤中的氣體大多已消失，太陽系內側可能於目前地球軌道附近出現一圈岩石碎屑。在這圈碎屑的外側，則至少有四顆共振巨行星密集坐落在目前木星軌道至海王星軌道間約一半的範圍之內。最外側的巨行星軌道之外，冰冷的微行星一路延伸到太陽系邊緣。數億年間，類地行星逐漸形成，原本混亂不安的外側行星也穩定下來。出乎意料的是，這還不是太陽系演化的最後一個階段。

大航向和大突擊可能一起引發太陽系形成過程中最後一次的行星劇變，使太陽周圍的行星成為我們現今所

最後大群破碎的微行星毫不留情把行星推進死亡螺旋：每顆行星的軌道逐漸縮小，一顆顆墜向太陽。

見到的樣貌。這起發生在41~38億年前的重大變化稱為大撞擊事件晚期（Late Heavy Bombardment），當時太陽系有一段時間變成隨處都有微行星互相撞擊毀滅的靶場。現在我們在月球表面看見的巨大隕石坑，就是這次事件留下的痕跡。

2005年，本文作者莫爾比代利和法國尼斯的蔚藍海岸天文台的同事共同提出「尼斯模型」，解釋巨行星間的交互作用如何引發大撞擊事件晚期。大航向結束時，尼斯模型勾勒的劇本緊接著開始。 （文轉61頁）

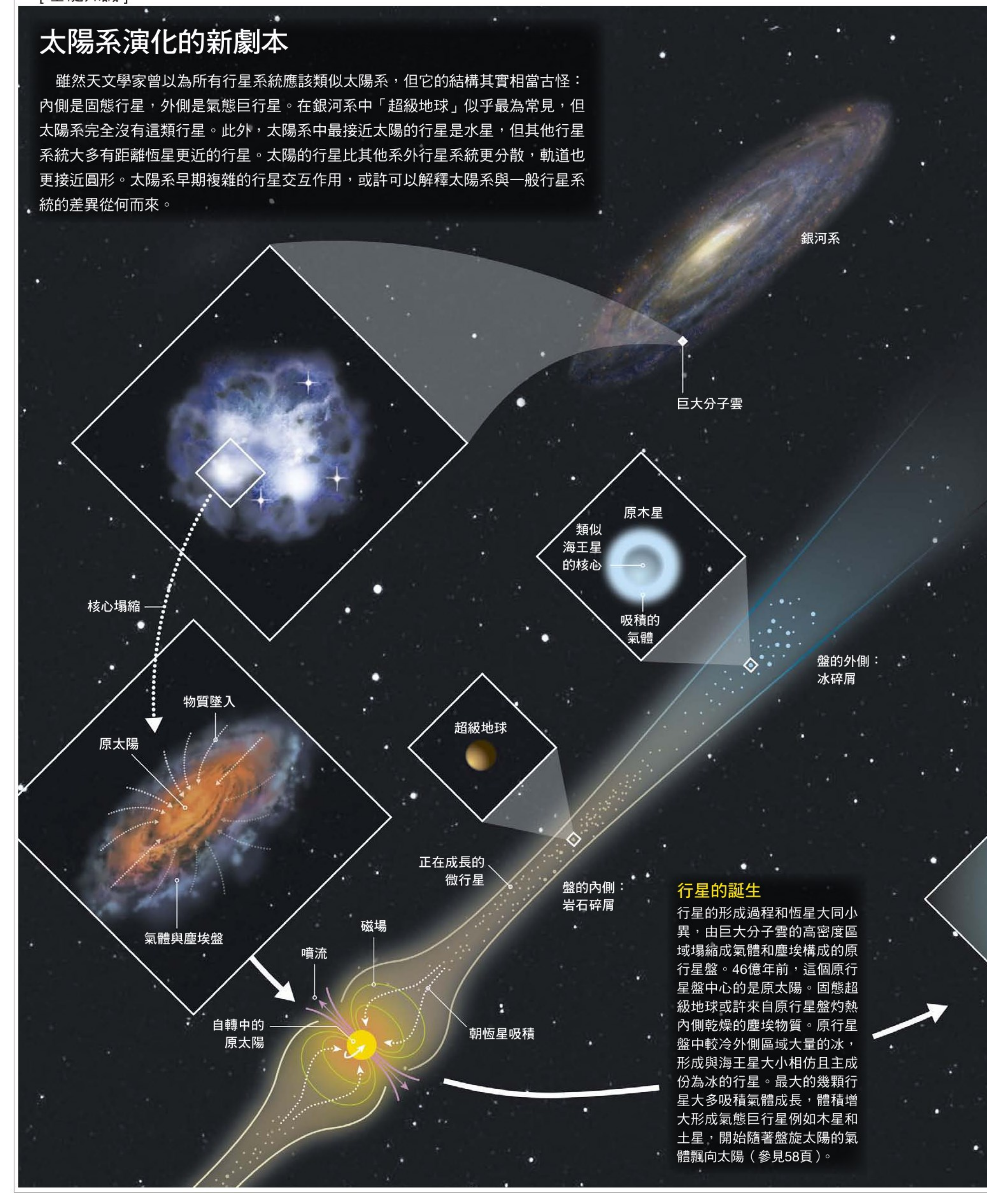
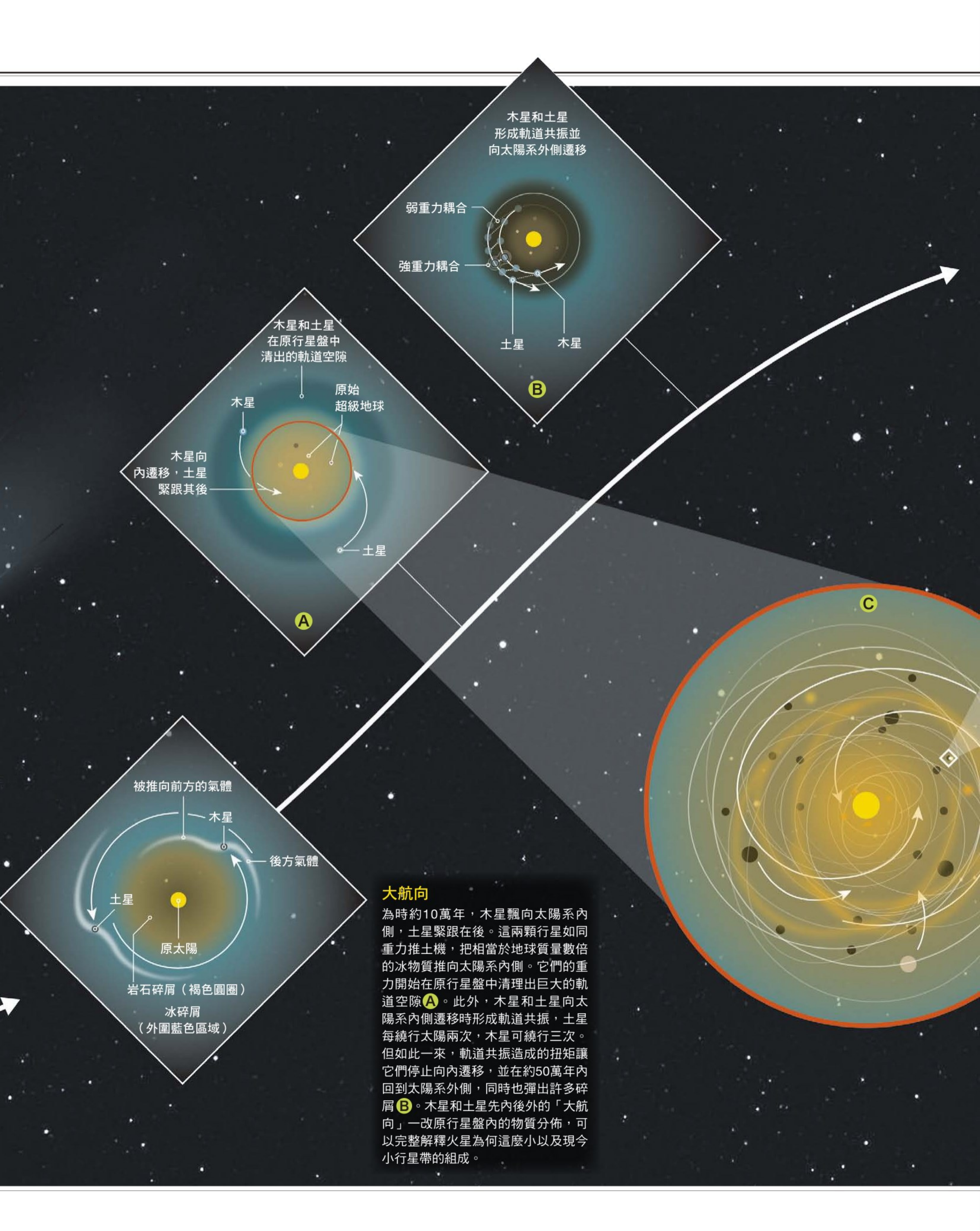
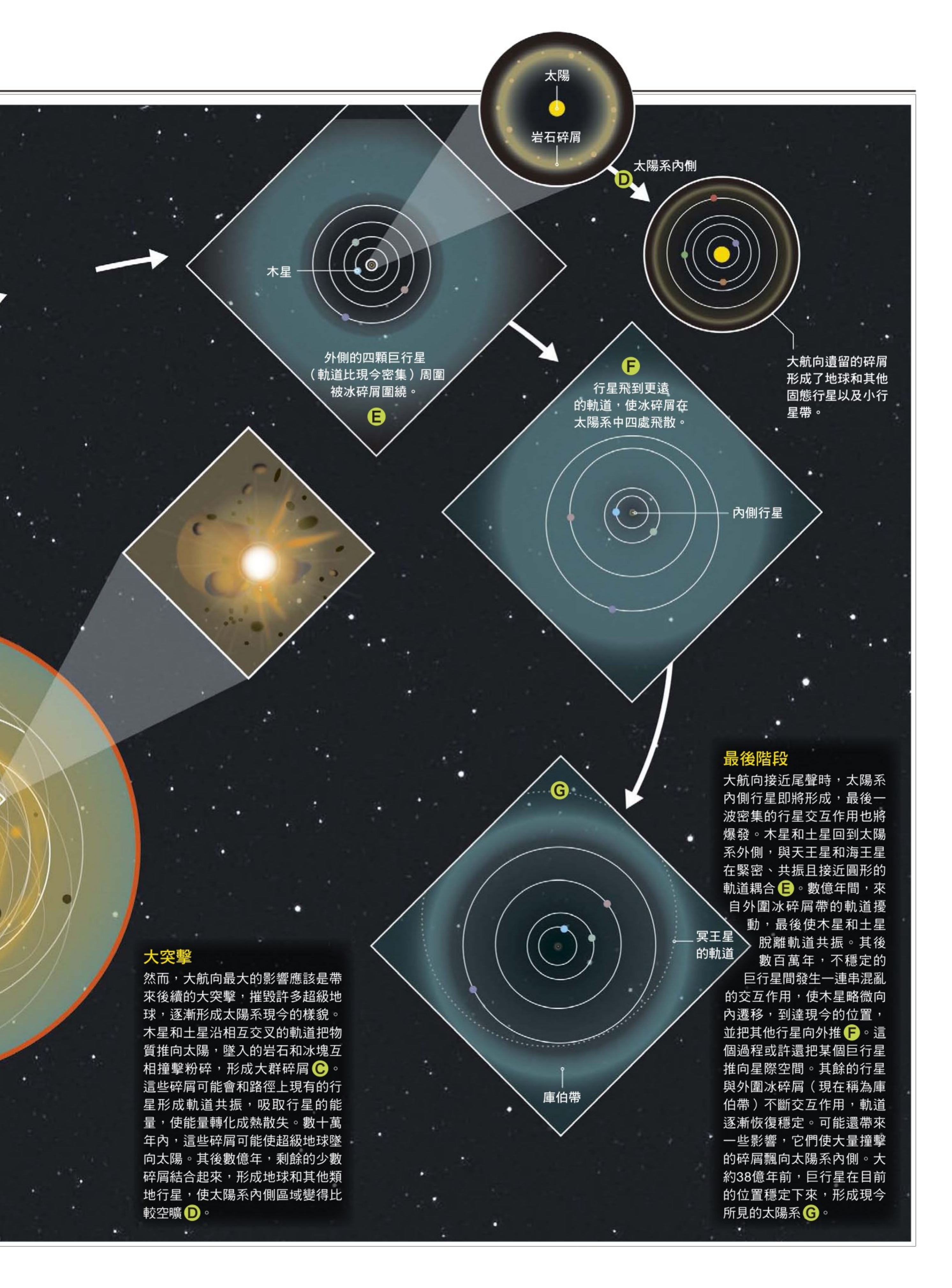


Illustration by Jen Christiansen



大航向

為時約10萬年，木星飄向太陽系內側，土星緊跟在後。這兩顆行星如同重力推土機，把相當於地球質量數倍的冰物質推向太陽系內側。它們的重力開始在原行星盤中清理出巨大的軌道空隙Ⓐ。此外，木星和土星向太陽系內側遷移時形成軌道共振，土星每繞行太陽兩次，木星可繞行三次。但如此一來，軌道共振造成的扭矩讓它們停止向內遷移，並在約50萬年內回到太陽系外側，同時也彈出許多碎屑Ⓑ。木星和土星先內後外的「大航向」一改原行星盤內的物質分佈，可以完整解釋火星為何這麼小以及現今小行星帶的組成。



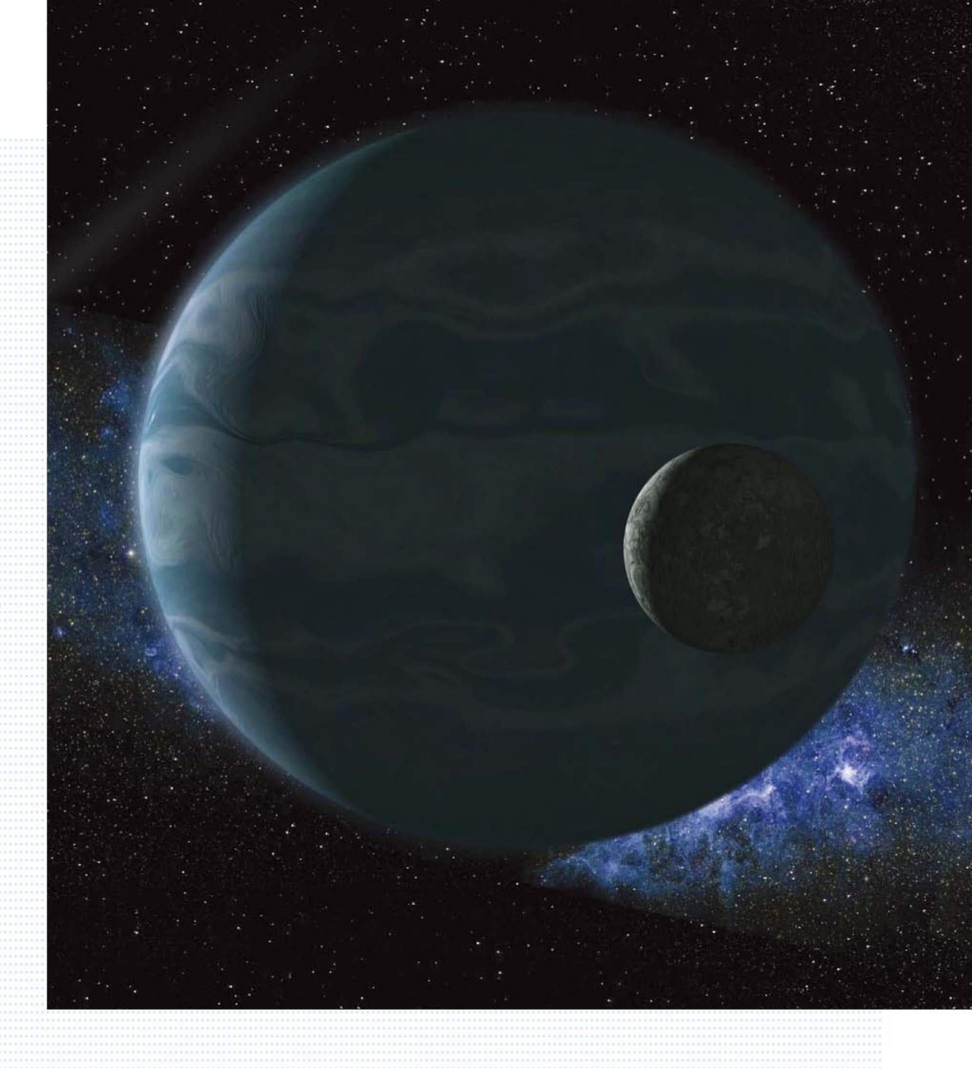
大突擊

然而，大航向最大的影響應該是帶來後續的大突擊，摧毀許多超級地球，逐漸形成太陽系現今的樣貌。木星和土星沿相互交叉的軌道把物質推向太陽，墜入的岩石和冰塊互相撞擊粉碎，形成大群碎屑C。這些碎屑可能會和路徑上現有的行星形成軌道共振，吸取行星的能量，使能量轉化成熱散失。數十萬年內，這些碎屑可能使超級地球墜向太陽。其後數億年，剩餘的少數碎屑結合起來，形成地球和其他類地行星，使太陽系內側區域變得比較空曠D。

最後階段

大航向接近尾聲時，太陽系內側行星即將形成，最後一波密集的行星交互作用也將爆發。木星和土星回到太陽系外側，與天王星和海王星在緊密、共振且接近圓形的軌道耦合E。數億年間，來自外圍冰碎屑帶的軌道擾動，最後使木星和土星脫離軌道共振。其後數百萬年，不穩定的巨行星間發生一連串混亂的交互作用，使木星略微向內遷移，到達現今的位置，並把其他行星向外推F。這個過程或許還把某個巨行星推向星際空間。其餘的行星與外圍冰碎屑（現在稱為庫伯帶）不斷交互作用，軌道逐漸恢復穩定。可能還帶來一些影響，它們使大量撞擊的碎屑飄向太陽系內側。大約38億年前，巨行星在目前的位置穩定下來，形成現今所見的太陽系G。

藏身外太空的第九行星



從最新的太陽系起源理論，一窺可能存在的「第九行星」。

撰文／雷蒙尼克（Michael D. Lemonick）

太陽系在遠古時期可能經歷劇烈變動，這說法或許可以解釋庫伯帶以及由冰構成的歐特雲從何而來、數十億年前小行星為何對太陽系內側行星密集轟炸，以及為何太陽系不像其他行星系統有很多超級地球等問題。但現在行星科學家又有新問題亟待解決：遠在冥王星軌道之外的黑暗區域，可能有顆質量為地球10倍的行星繞行太陽。如果這顆「第九行星」確實存在，它的重力或許導致庫伯帶中某些天體有著十分奇特的運行軌道。

不過或許還有一條線索可以窺知太陽系早期的劇烈變化。這顆尚未發現的巨大行星，可能距離太陽超過305億公里（比冥王星與太陽的平均距離遠五倍），形成地點也不大可能是目前的位置，因為這裡的物質根本不足以生成這樣的行星。

美國西南研究所行星形成理論科學家李維森（Harold F. Levison）表示：「如果這顆行星確實存在，它的形成地點很可能介於地球與太陽距離的5~20倍之間，而且曾經被木星或土星（與它的重力交互作用）向外散射出去。」

這個說法不值得爭論。普林斯頓高等研究院的崔曼（Scott Tremaine）指出，最重要的是木星非常巨大，「把彗星或地球質量10倍的行星散射出去，也輕而易舉」。然而行星一旦開始移動，往往就會繼續前進，最後飛入星際空間，在軌道上穩定運行的機率非常低。李維森指出，統計上大概每50或100個事件，才有一個會如此，這幾乎是不可能的事。

如果天文學家真的透過望遠鏡發現了第九行星，可能所有的問題便會就此消失。不過，天文學家仍然必須弄清楚，可能性如此低的事件究竟是如何發生？崔曼表示：「我的猜測是，這個散射過程的效果比標準模型所說的大上許多。」也就是說，原以為會飛出的天體其實更常留在太陽系內。

猶他大學的布隆萊（Ben Bromley）表示，可能發生這種狀況的原因之一，是超級地球多在太陽系形成過程中被散射，當時原行星盤中形成行星的氣體尚未消散。布隆萊指出，如果超級地球在這個時期被散射，「行星會和氣體交互作用，並停留在太陽系的偏遠區域。」

卡內基科學研究所理論科學家凱博（Nathan Kaib）表示，如果第九行星存在，也可能並非來自太陽系。太陽不是單獨誕生，而是和其他數千顆恆星同時形成，每顆恆星（很可能）都有其行星系統。這些行星系統至少有一部份曾經劇烈洗牌，就像太陽系一樣拋出天體。凱博說：「這些天體可能會被太陽捕獲。」

第九行星的軌道可能會影響最終解釋，支持此假說的天文學家目前只計算出數種可能的軌道。

如果第九行星確實存在，科學家就會探討它如何來到現在的位置。至於第九行星是否符合科學家提出的太陽系早期模型？崔曼表示，答案當然是「有可能。」

雷蒙尼克是*Scientific American*編輯。

Illustration by Ron Miller

密集的巨行星仍舊彼此進行軌道共振，並且受到遠處冰質微行星微弱重力的影響。其實它們處於不穩定平衡狀態，隨時可能發生變化。微行星每次受到的拉扯或許很小，但經過數億年、數百萬次的軌道改變，巨行星的運動也出現細微的變化，緩緩脫離把它們綁在一起的軌道共振。

當瓦解的一刻來臨，一顆巨行星脫離共振，引發一連串混亂的行星擾動，木星略微向內側遷移，其他巨行星則同時向外移動。接下來數百萬年間太陽系外側出現重大的變化，巨行星軌道從緊密且接近圓形的狀態變為分散又混亂，行星運行軌道逐漸擴大且偏離圓心。巨行星之間的交互作用也變得更加劇烈難以預測，甚至很可能至少有一顆巨行星被彈開，而飛入星際空間。

假如劇烈演化就此停止，太陽系外側結構應該會和目前許多行星系統相同：有許多行星沿橢圓軌道運行。不過幸運的是，引發這場混亂的冰質微行星後來與巨行星軌道的交互作用，卻也有助於消弭混亂。木星和其他巨行星把靠近的微行星一顆顆拋出，逐漸耗去自身的軌道能量，並調整回它們原本的圓形運行軌道。儘管微行星大多被彈射到太陽的重力影響範圍外，但仍有一小部份留存在軌道上，形成現在稱為庫伯帶的冰碎屑圓盤。

第九行星，最後的理論

天文學家借助大型望遠鏡對庫伯帶進行耐心觀測，讓我們逐漸了解庫伯帶的完整範圍，發現了意想不到的結構。最重要的是，天文學家發現庫伯帶外緣的某些天體有個奇怪的特徵。這些天體雖然與太陽的距離不算近，但它們的軌道特性非常相似，彷彿共同受制於範圍極大的擾動。

本文作者貝提金和美國加州理工學院的同事布朗（Michael E. Brown）所做的電腦模擬顯示，這種狀態是受到某顆尚未觀測到的第九行星影響。這顆行星質量大約是地球的10倍，繞行太陽的軌道離心率相當大，週期約為兩萬年。如此偏遠的地方不大可能形成這樣巨大，而且軌道異常的行星，但如果它是太陽系誕生初期被拋出的天體，這樣的情況就相當合理（參見左頁〈藏身外太空的第九行星〉）。

如果這個說法獲得證實，太陽系第九行星的存在將大幅增進我們對太陽系奇特性質的理解，用來解釋各種異常現象的理論架構也會越來越完整、清晰。即使到現在，天文學家仍然在運用全球最大、最先進的望遠鏡，積極尋找這顆可能存在的行星。在人類探索自身宇宙定位漫長且複雜的歷程中，一旦發現這顆未知的行星，大概也只有在其他行星系統上發現生命的成就可堪比擬。

微行星每次受到的拉扯或許很小，但經過數億年、數百萬次的軌道改變，巨行星的運動也出現細微的變化。

如同透過骨骼、考古與DNA證據，可讓我們追溯古代人類在小小地球表面的遷徙過程一樣，天文線索也可協助電腦模擬，重現行星在太陽系誕生至今數十億年來的壯遊過程。

從太陽自翻騰的塵埃雲中誕生、第一批的行星形成、令大部份行星翻天覆地的大航向、大突擊和尼斯模型等重大事件，一直到在這遼闊銀河系邊緣的一顆恆星附近，誕生了生命，並開始感知周遭。完整了解太陽系歷史將是現代科學最重大的成就之一，無疑也是值得我們反覆傳誦的最重要故事。SA

甘錫安專事科技類翻譯。

延伸閱讀

Origin of the Orbital Architecture of the Giant Planets of the Solar System. K. Tsiganis et al. in *Nature*, Vol. 435, pages 459–461; May 26, 2005.

A Low Mass for Mars from Jupiter's Early Gas-Driven Migration. Kevin J. Walsh et al. in *Nature*, Vol. 475, pages 206–209; July 14, 2011.

Dynamical Evolution of Planetary Systems. Alessandro Morbidelli in *Planets, Stars and Stellar Systems, Vol. 3: Solar and Stellar Planetary Systems*. Edited by Terry D. Oswalt, Linda M. French and Paul Kalas. Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013.

Jupiter's Decisive Role in the Inner Solar System's Early Evolution. Konstantin Batygin and Gregory Laughlin in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 112, No. 14, pages 4214–4217; April 7, 2015.

Strong Evidence Suggests a Super Earth Lies beyond Pluto. Michael D. Lemonick in ScientificAmerican.com. Published online January 2016.

Evidence for a Distant Giant Planet in the Solar System. Konstantin Batygin and Michael E. Brown in *Astronomical Journal*, Vol. 151, No. 2, Article No. 22; February 2016.

Migrating Planets. Renu Malhotra in *Scientific American*; September 1999.



〈神秘行星X〉，《科學人》2016年3月號。

〈意想不到的行星搖籃〉，《科學人》2009年8月號。

〈行星創世紀〉，《科學人》2008年6月號。

科學加速
飛毛腿

科學家對短跑生物力學
有了新見解，有助於
短跑選手在奧運賽事更上一層樓。

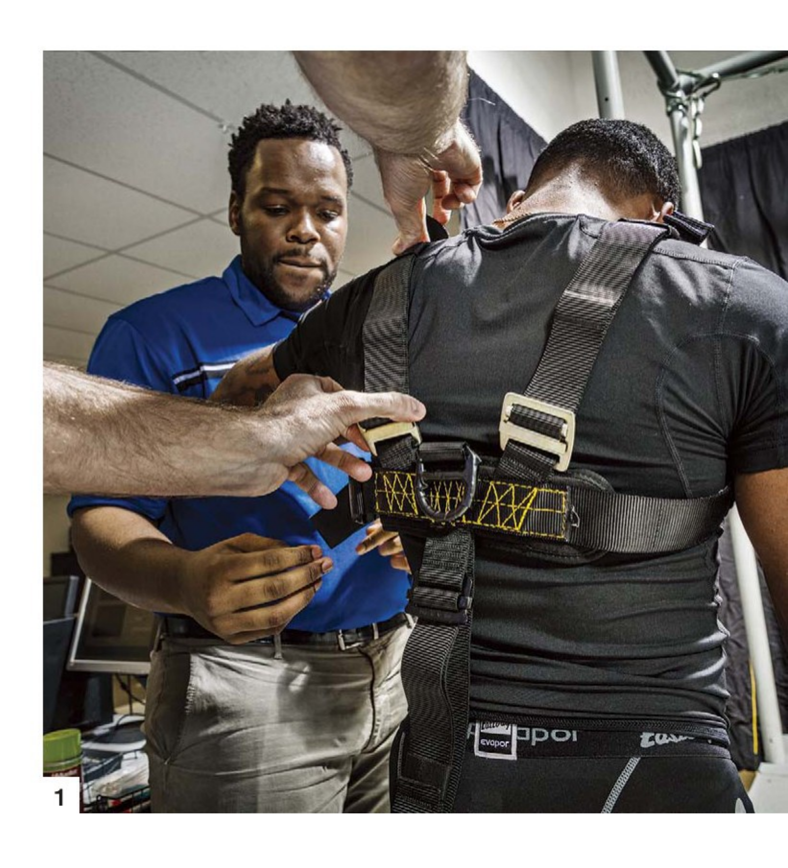
撰文／馬隆（Dina Fine Maron）
翻譯／林雅玲

Photographs by Jeff Wilson





馬隆（Dina Fine Maron）
美國屢獲獎項肯定的科學記者，也是*Scientific American*生物學和醫學類的副編輯。



1

今年2月的某個星期五早上，正為本屆奧運選拔賽接受訓練的美國短跑冠軍羅傑斯（Mike Rodgers），身體被垂降自天花板的安全背帶綁著，雙腳則踩在特製的跑步機上。「還沒有人掉下來過，但也不是完全不可能！」有人這樣告訴他，羅傑斯面帶微笑正為跑步熱身，不過那天他並沒有完成任何一項標準訓練：在賽道上練跑或在專屬健身房做重訓。相反地，他出現在德州達拉斯一棟小型白色建築裡，大門口的浮雕上寫著「運動表現實驗室」。

這棟建築位於一家寵物旅館和一間瑜伽教室對面，外觀看來平凡無奇，就像一家數位印刷公司。但近年來，許多短跑運動員例如羅傑斯，都來到這棟隸屬南美以美大學的建築，希望聽取運動科學家韋揚德（Peter Weyand）針對他們跑步技巧的建議，或是擔任受試者幫助韋揚德進行研究。韋揚德長年研究短跑生物力學，破解優秀運動員如何達成破紀錄速度的奧秘，成果廣受推崇。今年巴西里約熱內盧夏季奧運即將到來，他的研究結果甚至被納入美國頂尖短跑運動員的訓練內容。

整套設備的樞紐是韋揚德特製的跑步機，這台要價25萬美元的跑步機，配有特殊的施力板用來測量跑者在跨步時對地面的施力大小。跑步機的周圍架設了三台照相機，用來拍攝跑者高速跨步的立體影像。羅傑斯希望分析這些數據能帶來洞見，幫助他調整跑步速度，縮短他在100公尺短跑衝刺時的秒數。

穿上韋揚德要求受試者穿著的跑鞋、彈性纖維上衣和短褲並貼上反光貼紙，羅傑斯開始跑步，他跨大步以時速超過10公里的速度熱身，很快地，他的時速達到將近37公里；在這樣的速度下，他右小腿上的刺青嗶嗶鳥卡通圖案與「捉住我」的字，肉眼已無法看清。跑步機能記錄量測到的即時數據，並自動匯入專用電腦程式進行分析再繪製出動作圖譜。

韋揚德已量測並記錄120多名跑者，包括12名世界級短跑運動員，這些記錄大大彌補了科學家長期以來對高速移動的生物力學知識的空窗。在他的研究結果出爐之前，對於優秀短跑運動員的普遍看法是，這些短跑運動員特別擅長在跨出下一步前，在空中迅速重新定位四肢。然而這種說法多半來自直覺，並非基於科學證據得出的結論。韋揚德是第一位用科學方法檢驗這個說法的學者，他的研究結果顯示，這個說法是錯誤的，增進短跑速度的關鍵，似乎是完全不一樣的因素，韋揚德表示，新的研究結果能讓短跑運動員的表現更上一層樓。

各就各位！

跑步在運動史上最早可追溯至公元前776年，當時的奧運會唯一賽事是賽跑，不過跑步的科學基礎卻遠遠落後。也許最早嘗試記錄可靠的跑步數據是1922年諾貝爾生醫獎得主希爾（Archibald Hill），他在1927年進行

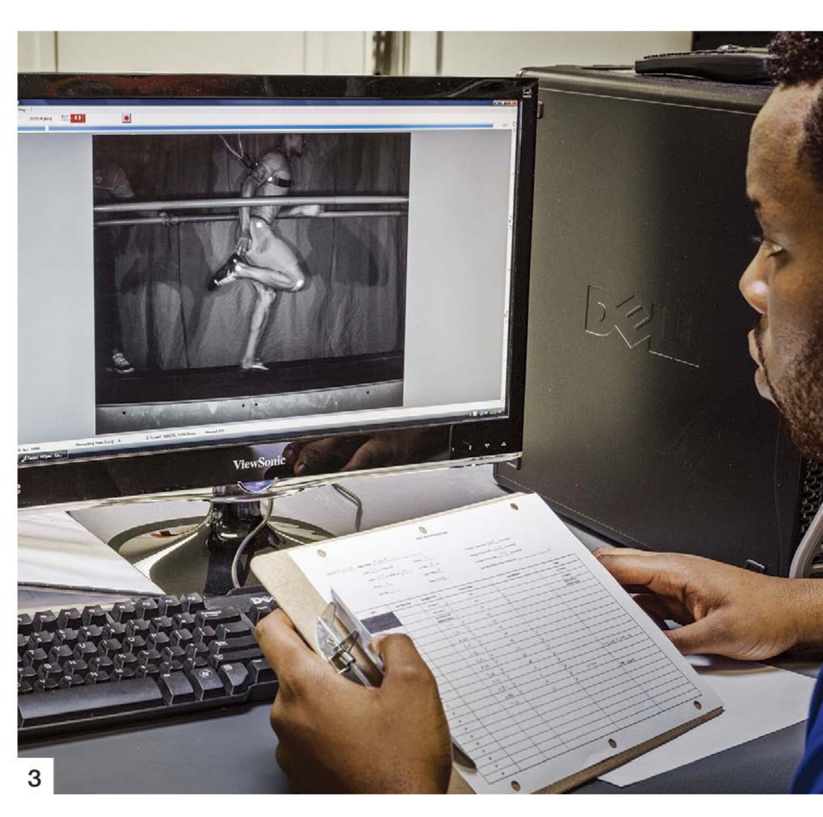
重點提要

- 一般相信，越厲害的短跑選手，為了跨出下一步，在空中重新調整四肢的速度比其他選手更快。
- 最新生物力學研究發現，優秀短跑選手踩踏地面的力量，才是卓越表現的關鍵。
- 生物力學分析解釋了踩踏力量的來源，以及短跑選手如何強化這些因素以提升速度的機制。

讓運動更科學：美國南美以美大學的科學家安排優秀短跑選手羅傑斯在他們的實驗室裡跑步（1）。為了追蹤羅傑斯的動作，博士生尤度發（Andrew Udofa）把反光貼紙貼在他的腿上（2）。跑者的數據會自動輸入電腦程式，讓科學家仔細分析他的步幅（3）。



2



3

實驗，讓跑者穿戴著磁鐵衝刺通過能偵測磁場的大型線圈；已知線圈之間的距離，因此能計算出跑者的速度與加速度。

1950年代，現代測力板的發明提供研究跑步的科學家其他層面的工具。測力板像秤一樣，能記錄跑步過程中每一步所施加的力道。有了這樣的工具，科學家可以檢視跑者以不同速度跑步所施加的力量，或是不同類型的踏步（例如腳尖或腳跟著地）的力量差異。1970年代，義大利科學家卡瓦納（Giovanni Cavagna）在跑道上裝設測力板以蒐集跑者的施力數據，但由於測力板造價昂貴，他擁有的測力板數量只夠記錄一小段距離。為了記錄完整的短跑數據，卡瓦納只能重複量測許多段短跑，而且還得以人工往前移動測力板，一次只能記錄跑者的幾個跨步，接著再拼湊成複合影像。

英國倫敦大學研究動物運動學的科學家亞瑟伍（Jim Usherwood）表示，根據卡瓦納以及其他早期的研究成果，短跑科學主要集中在探討如何減緩跑者的空氣阻力，而不是提升速度。整體而言，這些研究對於提升短跑運動員的表現，僅有些許貢獻。韋揚德的研究轉移了這個領域的研究重心，研究產生的新見解也提供運動員著力之處，但他並非第一位想改善跑步速度的人。由於速度等於步幅乘以步頻，假如跑者縮短腳踩在地上的時間，將能提升淨速度。韋揚德和同事在2000年發表了一篇經典論文，闡述跑步真正的運作機制。他們招募33名能力不同的跑者，在裝配測力板的早期跑步機上衝刺，結果令人驚訝。韋揚德原本的預期是：比起跑得慢的跑者，跑得快的跑者腳踏在地上的時間會更短，而有更多時間在空中。但他沒預料到實際的情形是，無論運動員能力如何，他們同一隻腳離地與再落地的時間，其實都一樣。

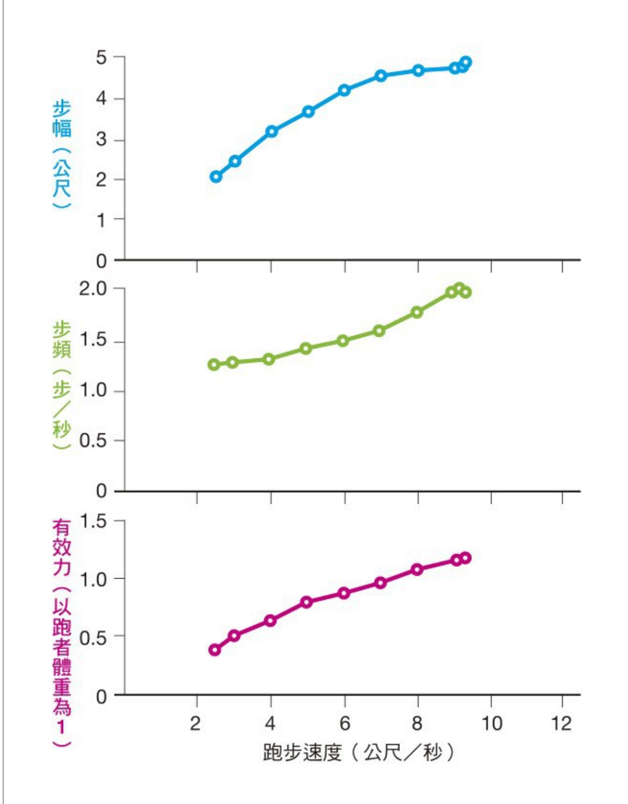
韋揚德的團隊發現，優秀短跑運動員與他人的差異在於跑者踩踏在地面的力道。在隨後的研究他們進一步發現，優秀跑者在達到最高速時，腳踩踏在地面的力量是體重的5倍，而中等的跑者則是3.5倍。這種差別相當顯著，就像更用力往下丟擲彈力球時，球會跳得更高一樣，當跑者用更大的力量踩踏地面，衝擊力會讓他跨得更大步因此跑得更快。有力的踩踏也讓跑者反彈更快，減少腳接觸地面的時間，因而提高步頻。最優秀的短跑運動員不但步幅更大，而且步頻也更高。

預備！

最近，韋揚德的團隊也找出優秀短跑運動員如何踩踏較大力量的原因，同時也迫使跑步界修改另一項核心原則。1980年代後期，彈簧體模型（spring-mass model）是盛行的跑步力學模型，這個模型假設跑者雙腿的移動相對被動，就像彈跳棒一樣，隨著身體踩踏在地面上，

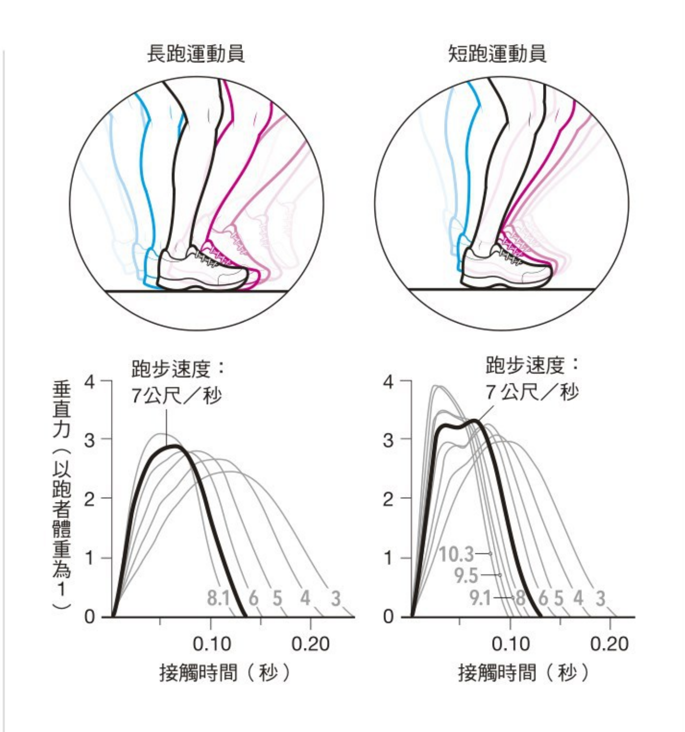
借地使力，提升速度！

如何成為優秀的短跑選手？遺傳到優秀基因和肌力訓練都是原因之一，卻不是速度的唯一來源。近來的研究使用了先進設備，讓我們得出生物力學的新見解，更有助於提升職業短跑運動員和業餘愛好者的短跑賽事表現。



力量是關鍵

科學家很早就知道，增加步幅和步頻會加快跑步速度（上圖與中圖）。2000年，美國南美以美大學的研究人員韋揚德的團隊證實，最快的跑者踩踏地面的力量也最大（最底圖），這種撞擊可驅動步幅和步頻增加。



姿勢影響力量

2014年韋揚德的團隊發現，長跑運動員的雙腳在踩踏地面和彈到空中時，呈現被動的「碰觸並離開」動作，以力的大小與地面接觸時間做圖，結果呈現平緩曲線（上圖左）。相反地，優秀短跑運動員踩踏地面的時間更短，雙腿就像活塞運動以提供更強大的力，他們的動作圖譜呈現更陡峭的曲線。要更有力踩踏地面，短跑運動員必須保持腳踝挺直，因為放鬆的腳踝會吸收反彈力道而減弱（上圖右）。

接著帶動身體反彈到空中，踏步力道的圖譜是平滑的對稱曲線。

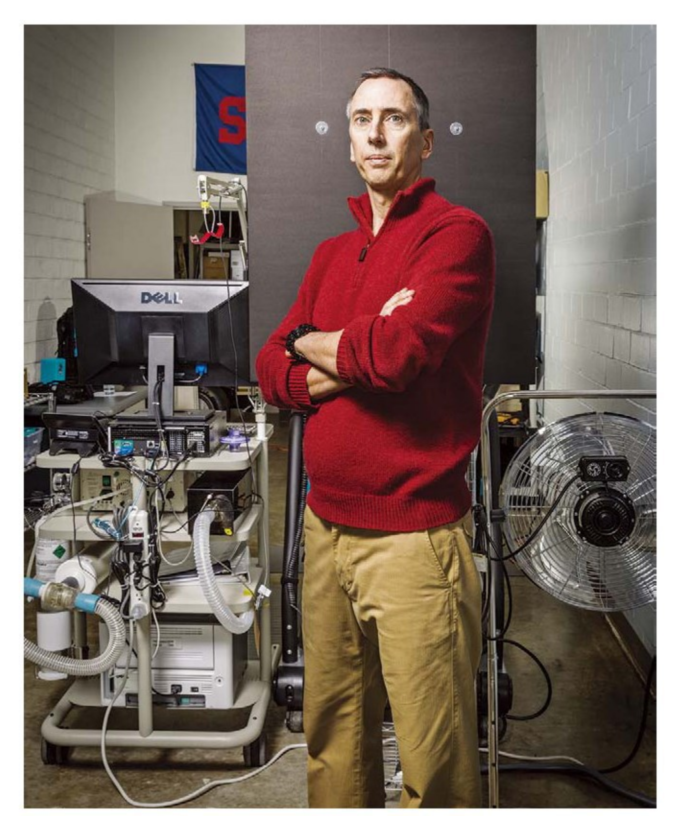
然而，這模型是基於跑者在慢速跑步時的觀察所推導出來的。韋揚德與同事物理學家萊恩（Laurence Ryan）和生物力學家克拉克（Ken Clark，目前任職西徹斯特大學），分析他們蒐集的連續影像和施力數據，發現彈簧體模型似乎無法套用在最快的跑者身上。有別於類似彈跳棒平緩的收縮和伸張，跑者腿的運動方式更像活塞，不斷提供猛然且強力的衝擊，他們的踏步力道圖譜呈現出陡峭的高峰。

仔細研究這些飛毛腿的下肢，研究人員找到他們提升踏步力量的微妙因素：他們在踩踏地面之前，會保持腳踝挺直，在碰觸地面後瞬間讓腳和腳踝減速。此一減速能讓地面施加在身體的力量最大化，也能避免這道力量的損失。優秀短跑運動員也會抬高膝蓋，拉長與地面的距離，因而擁有更多時間和空間加速踏步，最終能以更大的力道踩踏地面。這項萬萬想不到、但卻非常合理的研究結果於2014年發表，韋揚德指出：「如果你放鬆腕關節揍人，力量不會太大。」然而，如果你保持手腕挺直，那麼便能揮出更有力的一拳。

如今，每當跑者與教練求助如何提升短跑表現時，韋揚德的研究團隊就會告訴他們這些新見解。韋揚德說：「這是很簡單的微調，我們不會要求他們減速，我們會說，踩踏地面時保持腳踝挺直，減速會因此自然發生。」他補充道，銘記這項建議的跑者會發覺自己踩踏地面的力量變大了；身體其他部位的姿勢也很重要，包

SOURCES: "ARE RUNNING SPEEDS MAXIMIZED WITH SIMPLE-SPRING STANCE MECHANICS?" BY KENNETH P. CLARK AND PETER G. WEYAND, IN *JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY*, VOL. 117, NO. 6; SEPTEMBER 15, 2014 (*bottom right*); "FASTER TOP RUNNING SPEEDS ARE ACHIEVED WITH GREATER GROUND FORCES NOT MORE RAPID LEG MOVEMENTS," BY PETER G. WEYAND ET AL., IN *JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY*, VOL. 89, NO. 5; NOVEMBER 1, 2000 (*left*)

Graphics by Jen Christiansen, Illustration by Brown Bird Design



解構速度：美國南美以美大學生物力學家韋揚德，花了20年研究優秀短跑選手跑得快的原因。

括踝、膝、髖、軀幹和頭部都應該保持挺直。

韋揚德的研究結果並沒有讓所有人大吃一驚。生物力學家曼恩（Ralph Mann）曾是奧運跨欄選手，目前指導美國田徑協會的運動員和教練，協會的教練伍德森（Darryl Woodson）表示，曼恩早就給予跑者這類型的建議，伍德森目前是八名短跑運動員的教練，包括羅傑斯。但是有了具體的數據支持曼恩的建議，伍德森認為這讓教練「在給予選手這些指導時，更有信心。」

跑！

採納韋揚德建議的運動員，跑步成績都進步了。奧運跨欄選手奧利佛（David Oliver）在2008年奧運獲得銅牌，他的重訓教練在2012年帶他來見韋揚德，當時韋揚德明確指出奧利佛的兩大問題：踩踏地面的腳離身體重心太遠，以及膝蓋位置太後面因而限制了踩踏的力量（有別於與另一腳的膝蓋平行或稍前）。奧利佛表示，他後來在練跑和重訓時專注改善這些問題，幾個月後成績穩定進步，並在2013年莫斯科舉辦的110公尺跨欄世界錦標賽贏得金牌，他目前仍名列這項競賽世界紀錄第四名。

儘管有這些傳聞，目前為止還沒有研究人員為這些選手在採納韋揚德建議後的轉變，提出正式的科學報告。不過，一項正在進行的研究分析顯示，韋揚德的建議能帶來顯著的助益。蒙大拿大學的邦多（Matt Bundle）一直在分析這些建議對於短跑受試者的影響，他發現所帶來的改善效果「和我們認為某人吃了增強表現的藥物（禁藥）一樣，這是相當戲劇性的變化。」不過，韋揚德也承認生物力學並不是成功的全部，他表示有很多層面尚待研究，而且還有很多因素是運動員無法控制的。舉例來說，遺傳顯然非常重要，韋揚德解釋：「如果你沒有強健的骨架和肌肉就無法使力，因此不可能達成卓越的短跑衝刺。」

另外，韋揚德提到運動員有時能克服生物力學上的弱點：牙買加的波特（Usain Bolt）是短跑的世界紀錄保持人，他跑步時的力學基礎也並非毫無缺點。這種不完美反而暗示必定還有其他因素有助於波特的表現，尤其是他的身高和力量。運動科學家發現韋揚德的研究不僅適用於優秀運動員，對於休閒短跑也有幫助。保持腳踝挺直、抬高膝蓋並大力踩踏地面，並不會讓所有人成為奧運選手，但至少能讓跑者獲得個人最佳成績。當然，對業餘短跑人士而言，大力踩踏地面可能會造成傷害。舉例來說，如果一個人的體型不佳，這樣的撞擊可能會引發潛在傷害，包括膝蓋疼痛、足弓疼痛和蹠骨疼痛。法國尼斯大學的研究人員莫蘭（JB Morin）建議把跑下坡當做培訓方案之一，這能訓練腳踝保持挺直；他也建議透過跳繩來幫助腳快速反彈。（韋揚德的發現只適合短跑運動員，長跑運動員不能大力踩踏地面，因為他們必須為了長距離而保留體力。）對羅傑斯而言，韋揚德帶來的是好消息，羅傑斯的體重僅約75公斤，但他施予跑步機的力量超過318公斤。奧運會上誰都沒有必奪金牌的把握，今年羅傑斯代表美國前進奧運，目前的狀態評估預告他在比賽當日能獲取佳績。SA

林雅玲於中央研究院國際研究生學程取得生物科技學博士學位，長期從事科普翻譯與寫作，現於中央研究院分子生物研究所擔任博士後研究員。

延伸閱讀

Foot Speed, Foot-Strike and Footwear: Linking Gait Mechanics and Running Ground Reaction Forces. Kenneth P. Clark, Laurence J. Ryan and Peter G. Weyand in *Journal of Experimental Biology*, Vol. 217, No. 12, pages 2037–2040; June 15, 2014.

Are Running Speeds Maximized with Simple-Spring Stance Mechanics? Kenneth P. Clark and Peter G. Weyand in *Journal of Applied Physiology*, Vol. 117, No. 6, pages 604–615; September 15, 2014.



〈狩獵一族〉，《科學人》2014年5月號。

〈意志力決勝負〉，《科學人》2012年8月號。

〈用力向前跑〉，《科學人》2004年4月號。



恐龍遭殃 哺乳類當家

近年發現的化石證據，逐步重建我們這些哺乳動物的演化史。
原來早在小行星導致恐龍滅絕以前，
哺乳類祖先就開始為後進之輩的崛起乃至
最終成為地球當家奠定了基礎。

撰文／布魯賽特（Stephen Brusatte）、羅哲西（Zhe-Xi Luo）
翻譯／王心瑩

Illustration by James Gurney



恐龍大餐：爬獸屬（*Repenomamus*）是生活在大約1億3000萬年前的早期哺乳類，在中國挖掘出的化石中，胸廓內發現有鸚鵡嘴龍（psittacosaur）幼體的骨頭。

布魯賽特（Stephen Brusatte）
英國愛丁堡大學古生物學家，曾為*Scientific American*撰寫文章，參見《科學人》2016年3月號〈誰殺了恐龍？〉。





羅哲西（Zhe-Xi Luo）
美國芝加哥大學古生物學家，研究著重於哺乳類的早期演化歷程。

1824年初冬的一天傍晚，英國自然學家兼神學家巴克蘭（William Buckland）在倫敦地質學會起身發表演說，室內滿溢期待。巴克蘭以他在牛津大學活力四射的授課風格聞名，講課時的他常身穿全套的學術袍，手拿動物各個部位和化石滿場穿梭，並遞給慕名而來的學生輪流傳閱。當時有個傳聞，據說巴克蘭收藏了一些巨大的骨頭化石，是採石工人在英國鄉間開採屋頂用石片時發現的；歷經將近10年的研究，巴克蘭終於要把這項秘密公諸於世。他對聽眾說，這些骨頭隸屬於一種類似蜥蜴的古代動物，體型比現代任何的蜥蜴都大得多，他稱之為「斑龍屬」（*Megalosaurus*）。這消息讓聽眾興奮著迷——巴克蘭正揭開史上第一隻恐龍的面紗。

那個夜晚是科學史上的重大開創時刻，點燃了人類對恐龍長期持續的癡迷狂熱。然而，巴克蘭在那天同時宣佈的另一項發現卻幾乎無人記得，那是一種體型小得多的動物，但同樣極具開創性。巴克蘭仔細檢視採石場裡與斑龍一同發現的其他化石，隨即注意到兩塊「最引人注目」的骨頭，那是極小的哺乳類頜骨，大小約像小鼠的頜骨。直至當時為止，學者都認為哺乳類是近代的產物，出現時間比巨型蠑螈和蜥蜴稱霸世界的原初地質時代晚了許多。而這兩塊非常小的頜骨，從牠們的尖牙看來絕對是哺乳類無誤，這也是最早顯示哺乳類群其實擁有深遠歷史的第一個跡象。

這些頜骨引發了許多疑問。哺乳類的起源可以回溯到多久以前？恐龍在歷史上稱霸那麼久的時間，當時的哺乳類在做什麼？哺乳類的典型特徵（具有毛皮、乳腺、大型腦部、複雜牙齒和敏銳感官等）如何演化出來？而像我們胎盤類（生下的幼體已發育得相當完整）這個特殊的哺乳類群，又是如何崛起達到優勢地位（演化出5000多個物種，從體重極輕的蝙蝠到巨獸般的藍鯨皆屬此類），時至今日蹤跡遍佈整個地球？

距巴克蘭發表演講已過了將近兩世紀之久，這些疑問依舊沒有確切答案，因為已知的早期化石實在太少。過去15年突然掀起一陣驚人的化石發現潮，科學家終於能夠追溯這些小動物的演化旅程，從牠們生活在斑龍的陰影下開始，漸漸發展成令人驚歎的各式形態，最後稱霸現代世界。

卑微的起步

如同所有鼎盛王朝崛起之初，哺乳類也源自地位低下的譜系。以科學術語來說，牠們在生命家族樹上歸屬的類群包含了產卵的單孔類、在育兒袋內養育幼體的有袋類、胎盤類，以及牠們共同祖先的已滅絕後代。外表和行為都接近今日哺乳類的最早期動物是「主幹哺乳形類」（stem mammaliaform）的一個類群，牠們是哺乳類最近的近親，從犬齒龍類（cynodont）演化而來，這類原始物種依然保留牠們爬行類祖先的許多特徵。

主幹哺乳形類最早的存在跡象，可以回溯到大約2億1000萬年前的三疊紀晚期，那是演化的蓬勃時期。比當時再早幾千萬年前，幾乎所有生物都在一場火山爆發中消失殆盡，那起大滅絕事件標記出二疊紀的尾聲，也迎來了三疊紀。在這場大災變之後，稱霸二疊紀的大多數巨型兩生類和爬行類都滅絕了，許多現今最重要的動物類群趁此真空期順勢崛起。在這段激烈變化期間，龜類、蜥蜴類、蛙類、鱷類、最後演化成鳥類的恐龍，以及身為哺乳類先驅的哺乳形類，全都跨出牠們的起步。

保存最好的三疊紀哺乳形類化石，來自北冰洋弗萊明峽灣（Fleming Fjord）周圍的岩石，這道峽灣往內切

重點提要

- 哺乳類究竟何時及如何成為地球上的優勢脊椎動物？科學家一直對這個問題十分好奇，但苦無恰當的化石證據來解答。
- 過去15年的化石發現潮，有助於科學家回溯哺乳類的崛起歷程，並釐清恐龍滅絕在牠們的崛起過程中扮演何種角色。
- 這些發現顯示，哺乳類的起源時間遠比專家過去所想的早了許多，而且在恐龍依舊稱霸的時代，哺乳類已演化出許多特化形態。
- 小行星撞擊地球導致恐龍走向滅絕，這起事件尤其讓胎盤類哺乳動物得以繁衍興盛。

入格陵蘭東部的海岸。1990年代在那裡發現的大量細小牙齒和頜骨，幫助我們描繪出最接近哺乳類祖先的動物樣貌。獲得那些化石並不容易；2012年辭世的簡金斯（Farish Jenkins）是美國哈佛大學的傳奇古生物學家，他帶領一群英勇的團隊從冰凍岩石中採集化石。簡金斯也像巴克蘭一樣，講課時渾身散發魅力和熱情，在他的解剖學課堂上，這位溫文儒雅的教授總是穿著漂亮的燕尾服，在黑板上用粉筆畫出精巧的骨骼和內臟系統。簡金斯曾服役於美國海軍，在領導北冰洋化石探索行動時總是勇於冒險，甚至隨身攜帶步槍以保護他的團隊，因為在高緯度進行野外工作，經常得冒著遭北極熊攻擊的風險。

簡金斯團隊發現的主幹哺乳形類化石主要分成三類：庫氏獸類（kuehneotheriid）、摩爾根獸類（morganucodont）和小賊獸類（haramiyidan）。牠們全是約莫鼩鼱或小鼠體型般的嬌小動物，而且已發展出好幾種重要的哺乳類特徵，最顯著的是全身覆滿毛皮，可以隔絕寒冷，體溫上升時也有助於散熱。牠們的頭骨具有簡化的屈戌關節，配上增大的頜骨閉合肌，可同時加強並微調咀嚼動作；相較之下，犬齒龍的齧咬吞嚥就稱不上靈巧。此外牠們的牙齒還具有牙尖，尤其是頜骨後方的臼齒，可以提高咀嚼效率。

來自格陵蘭和其他大陸的化石顯示，在演化過程中，牙齒的發育模式曾發生重大轉變，並伴隨上述頜骨形態的改變。犬齒龍類的牙齒終生都會持續生長、脫落並再度長出，而主幹哺乳形類的模式則是我們較熟悉的，即乳齒掉落之後由恆齒取代。雖然我們對自己的獨特齒列很不滿意，因為成年後一旦失去牙齒就不能再長出新牙，但這種獨特的牙齒生長和取代模式，其實與哺乳類的一項重要生理特徵有緊密關聯。沒有牙齒或只有乳齒的幼體可由母乳餵養長大，母乳由乳腺製造出來，而這正是哺乳類名稱的由來。因此，這些主幹哺乳形類與現代哺乳類運用類似的方式哺育幼體，在演化上這是宛如分水嶺般的關鍵轉折，可使哺乳類成長得較快、幼體存活率較高，也具有較高的新陳代謝率，因此主幹哺乳形類在較寒冷的環境中（特別是漆黑的夜裡）仍能保有一定活力。

主幹哺乳形類也表現出其他重要的哺乳類特徵，包括較高的智能和敏銳的感官。過去10年，電腦斷層掃描技術進展神速，讓古生物學家得以一覽化石內部解剖構造的細節，包括腦室和神經線路等構造。透過這項技術可以看出，這些早期哺乳類的腦部相較於牠們的祖先來得更大（雖然還沒有現代哺乳類的腦部這麼巨大）。牠們也有較大的嗅球和聽覺腦區，因此具備較靈敏的嗅覺和聽覺，而擴大的腦區也可處理從皮膚和毛髮傳來的細微觸覺。甚至內耳構造也升級了，周圍包覆實心的骨頭，為靈敏的聽覺器官隔絕因咀嚼所產生的響亮噪音。

雖然這些主幹哺乳形類逐漸展現出各種常見於現代哺乳類的厲害特徵，但嬌小的牠們還是很難成為三疊紀的優勢動物；恐龍和鱷類仍稱霸地球，牠們的體型開始發展到極為龐大，並登上食物鏈頂端。不過，原始哺乳類儘管在體型方面屈居劣勢，牠們倒是在多樣性方面扳回一城。近期由英國布里斯托大學的吉爾（Pamela Gill）主持的一項研究指出，這些動物的飲食適應具有令人驚訝的多樣性。吉爾等人運用同步加速器的射束去掃描主幹哺乳形類的牙齒，並設計軟體來模擬牙齒的咬合方式，顯示摩爾根獸類具有強壯的頜骨，可以咬碎大型昆蟲例如甲蟲類的堅硬外骨骼；庫氏獸類的頜骨則較細長，牙齒也很纖細，只能對付柔軟的蟲子或蛾類；本文作者之一羅哲西也做了進一步研究，說明小賊獸類可用牠們獨特的靈活頜骨來切割並磨碎小型植物。

外表和行為都接近今日哺乳類的最早期動物是「主幹哺乳形類」的一個類群，牠們是哺乳類最近的近親，從犬齒龍類演化而來，依然保留爬行類祖先的許多特徵。

侏羅紀的演化大爆發

傳統觀點認為，這些原始哺乳類在中生代的大半時期停滯了數千萬年都沒有明顯演化進展（中生代介於2億5200萬~6600萬年前，包含三疊紀、侏羅紀和白堊

從爬獸到直立

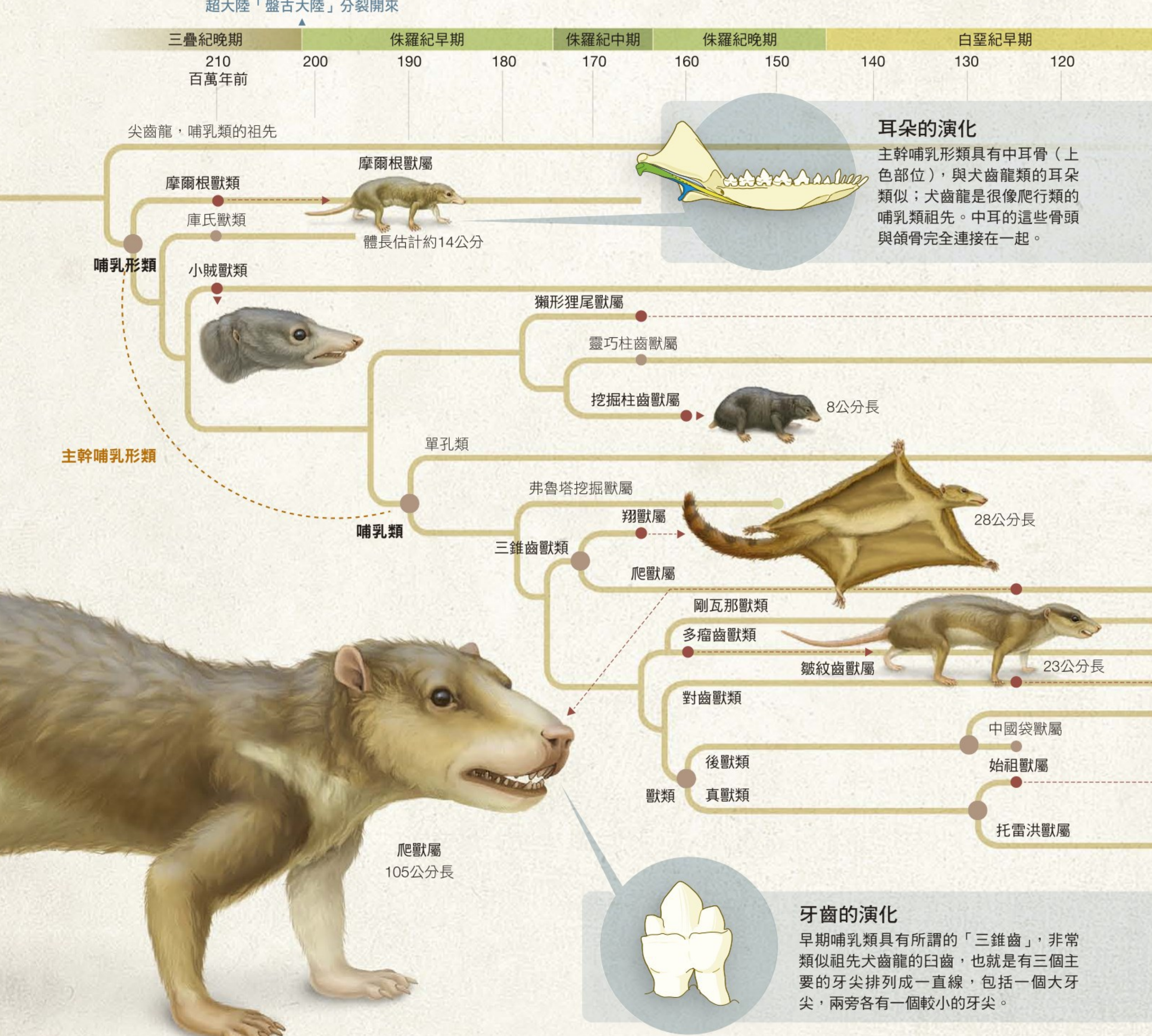
最近發現的化石讓研究人員得以重建哺乳類的演化過程，從地位低下、長得像鼩鼱的祖先，發展到今日異常多樣的各種現存形式，包括人類在內。哺乳類最重要的演化創新包括牙齒和耳朵，這些形態特徵有助於哺乳類繁衍興盛，並進佔每一種生態區位。

地位低下的開端

最早類似哺乳類的動物是主幹哺乳形類，牠們剛演化出來時，現今地球的各個大陸仍為單一大陸。

早期的特化現象

研究人員曾認為，在恐龍滅絕之前，哺乳類的演化一直相當沉寂。不過新的證據顯示，早在恐龍稱霸之時，哺乳類就已演化出非常多變的覓食和動作模式。



耳朵的演化

主幹哺乳形類具有中耳骨（上色部位），與犬齒龍類的耳朵類似；犬齒龍是很像爬行類的哺乳類祖先。中耳的這些骨頭與頜骨完全連接在一起。

牙齒的演化

早期哺乳類具有所謂的「三錐齒」，非常類似祖先犬齒龍的臼齒，也就是有三個主要的牙尖排列成一直線，包括一個大牙尖，兩旁各有一個較小的牙尖。

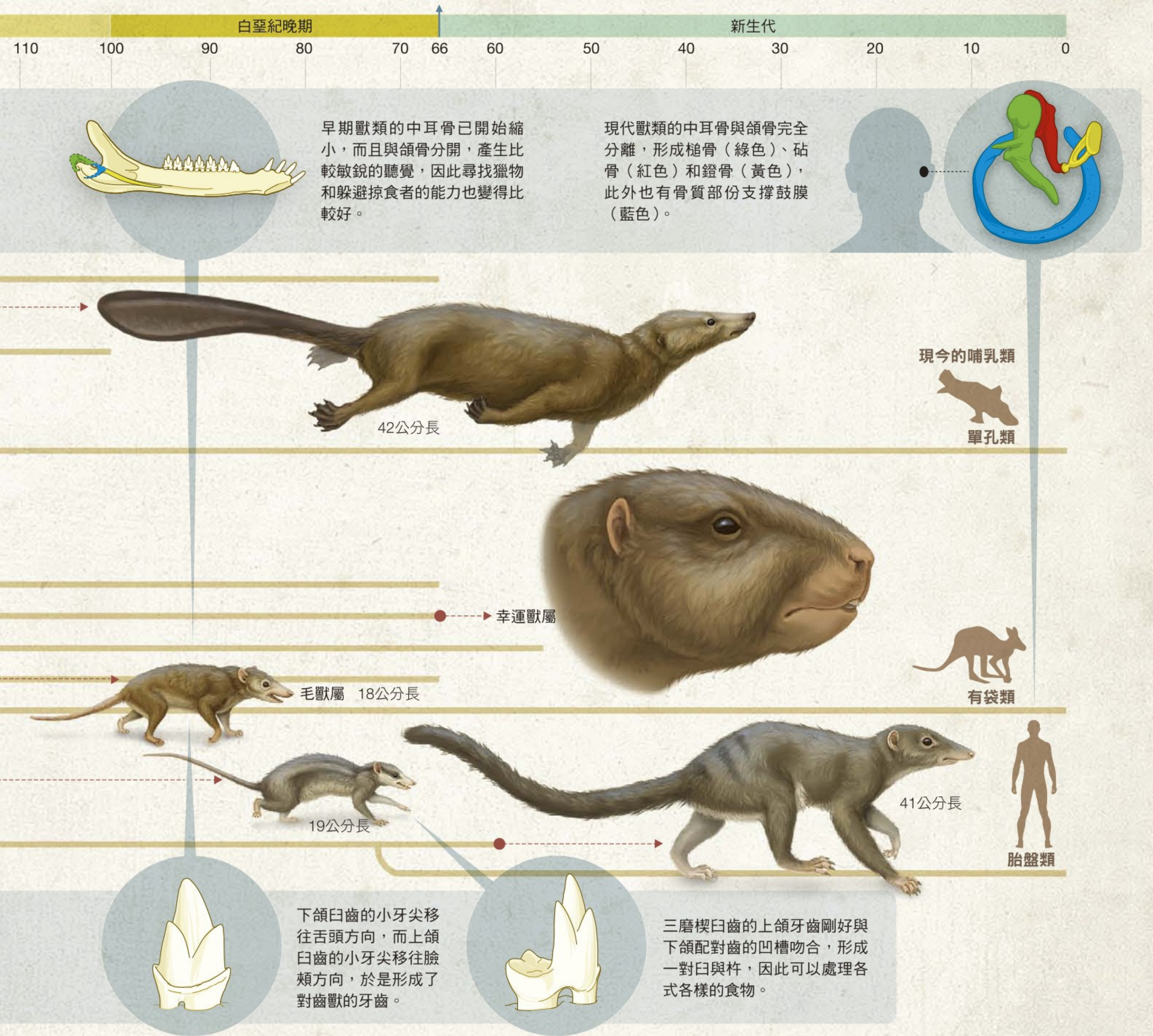
Illustrations by April Neander (reconstructions), Design by 5W Infographics

哺乳類百家爭鳴

被子植物的登場加速了獸類哺乳動物的演化，這個類群包括具有育兒袋的有袋類，以及生下發育良好幼體的胎盤類。

送舊迎新

哺乳類其實在恐龍年代就演化得相當成功，但直到恐龍滅絕後，胎盤類才演化出驚人的多樣性，填補空出的生態區位。



紀）；恐龍巨獸佔據至高優勢地位時，原始哺乳類潛居在地面上，總是匆匆穿越底層灌木叢掠食小型昆蟲，過著低調不受注目的生活。然而，近年來全球各地湧現新一波的化石發現潮，證明上述想法並不正確。我們在主幹哺乳形類身上看到的適應現象，其實是哺乳類整個演化過程的共同基調，例如有很長一段時期主幹哺乳形類與恐龍的生活彼此重疊，而且以多樣化的面貌去適應周遭變化，這似乎是牠們演化成功的關鍵因素。

主幹哺乳形類有敏銳的感官和精細的動作協調能力（因為有較大的腦部而提升功能），再加上新陳代謝有所提升，因而能熬過寒冷漆黑的夜晚而繁衍茁壯。這些特徵也幫助牠們度過另一次災難式的衝擊而存活下來；根據地質記錄顯示，大約2億年前，正值三疊紀過渡到侏羅紀之際，盤古大陸這個超大陸分裂開來，各個新興大陸間的裂隙變寬，裂隙裡的火山大舉噴發，大氣層充斥有毒物質，也造成生態系崩壞。主幹哺乳形類顯然挺過這場可怕事件，立足於各種生態區位，當時許多其他脊椎動物無法進佔那些區位。

很多恐龍也在三疊紀末期的大滅絕事件中奮力存活下來，因此這個類群依舊是侏羅紀的主角。然而經過3000萬年，哺乳類譜系經歷另一次更加浩大的演化大爆發，急遽增加許多新的形態，主要證據來自數千件令人震驚的化石，都是過去10年間從中國東北部的髫髫山岩層採集而得。化石本身保存得非常完好，包括昆蟲和覆有羽毛的恐龍化石，還有20多種哺乳類骨骼，很多骨骼周圍都有一圈纖細的毛髮。大約1億6000萬年前，這些動物住在湖邊和森林裡，不幸遭到火山定期噴發的襲擊而喪命，屍體來不及腐爛分解就遭到掩埋。

在中國進行的這些哺乳類化石研究工作由羅哲西和其他研究人員共同主持，包括美國自然史博物館的孟津（Jin Meng）帶領的團隊，結果顯示這些動物擁有極其多樣的體形變化，因此能進佔非常廣泛的生態區位。獺形狸尾獸屬（*Castorocauda*）是一種存活到近代的主幹哺乳形類，生活在草原上，體形像狗，四肢有蹼，還有和河狸很相像的扁平尾巴，是已知最早會游泳的哺乳類。挖掘柱齒獸屬（*Docofossor*）運用類似鏟子的有爪前肢挖掘地道，而且張開的各指頭有個融合的關節，令人聯想到現代非洲的金鼴（golden mole）。靈巧柱齒獸屬（*Agilodocodon*）是動作靈巧的爬樹高手，會用鏟形的牙齒啃咬樹皮並吸食樹汁。其中最奇怪的也許是翔



會爬樹的祖先：攀援靈巧柱齒獸（*Agilodocodon scansorius*）是身形嬌小的爬樹高手，這件1億6500萬年前的哺乳類化石採集自中國，顯示適應樹棲生活的行為早在專家過去認定的時間之前就演化出來了。

COURTESY OF ZHE-XI LUO

獸屬（*Volaticotherium*），牠們在樹叢間滑翔時可能貌似飛鼠，利用四肢之間延展的薄膜駕馭氣流。而這些特化的哺乳類並非只有中國才有，例如會挖掘地道找螞蟻吃的弗魯塔挖掘獸屬（*Fruitafossor*）便採集自美國科羅拉多州，由羅哲西和美國卡內基自然史博物館的懷柏（John Wible）描述發表。總的來說，現今小型哺乳類採行的每一種重要生活方式，幾乎都可在這些新發現的侏羅紀哺乳類化石上見到。

在1億7400萬～1億6400萬年前的侏羅紀中期，哺乳類物種數量遽增、攀上巔峰。目前在英國伯明罕大學任職的克羅斯（Roger Close）進行統計分析，把各種骨骼特徵畫到一張譜系圖上，並計算各項解剖構造隨著時間變化的機率，結果顯示這些侏羅紀哺乳類物種的演化速度非比尋常，比三疊紀的主幹哺乳形類演化得更快，而且快了兩倍之多。這樣加速改變的步調奠定了哺乳類家族樹的基礎，於是這些譜系最終產生今日的單孔類（會產卵）和獸類（這個較廣泛的類群是由有袋類和胎盤類組成），兩者分歧演化，就像一對親兄弟分別繁衍出自己的後代。

上述形形色色的侏羅紀哺乳類，很多都屬於現今已滅絕的譜系，夾在家族樹上的單孔類和獸類的分支之間，不過仍是了解現存哺乳類起源的重要關鍵，因為牠們展現了哺乳類祖先的各式形態。在侏羅紀和隨後的白堊紀期間，這些滅絕已久的譜系分支與今日哺乳類祖先一同繁衍興盛，隨後才走向滅絕。在這段演化大爆發時期，牠們嘗試了很多種相同的覓食和運動方式，並且彼此逐漸趨近，最後匯集在現代哺乳類的祖先身上。因此，研究人員熱切想釐清這些早期特化出各種形態的動

物為何最終會發展失敗，沒能存活到現代。

遍地開花，哺乳類春天來臨

到了白堊紀的開端，大約是1億4500萬年前，現代哺乳類的設計藍圖已然建立。增大的腦部和快速的發育仍是這個類群的重要特徵，此外還出現一個原先看似不重要、最後卻成為改變生物遊戲規則的演化創新，亦即所謂的「三磨楔臼齒」（tribosphenic molar），這樣的設計讓上頜臼齒的凸出處剛好與下頜配對臼齒的凹槽相吻合，於是兩顆牙可以合作磨碎食物，就像杵與臼一樣。這樣的牙齒排列，使得哺乳類在飲食選擇上開拓出全新的範疇。

由於具備了功能較廣的三磨楔臼齒，獸類開始變得多樣化，這些演化路線最後發展成今日主要的哺乳動物類群：一支為真獸類（eutherian），後來演化成胎盤類；另一支後獸類（metatherian）隨後則演化成有袋類，這兩條路線岔開後，延伸出各自的演化支系。這些譜系之中最古老、最原始的動物遺骨出現在中國，早在1億2500萬年前，牠們就在有羽毛恐龍腳底下的森林地面四處活動。

儘管這些先驅獸類生活在白堊紀初期，但當時還不是牠們大放異彩的時候；牠們數量不多，體型嬌小，通常比沙鼠來得小。反倒是稍微更原始一點的哺乳類，例如三錐齒獸類（triconodont）和對齒獸類（symmetrodont），牠們在白堊紀最初的3000萬年間擔綱哺乳類主角，延續了早先在侏羅紀時期的成功發展。牠們當中的一些物種是整個中生代最大型的哺乳類，例如一公尺長、14公斤重的爬獸屬，體型像貂熊那麼大，生活在白堊紀初期的中國，牠們的胃含物化石竟然有小型恐龍的骨頭。

接著發生了意想不到的事，被子植物這類全新的植物形式演化出來，重新設定哺乳類的演化方向。這類會開花結果的植物組成了今日大多數的植物種類，為我們提供許多日常主食，也妝點我們的花園。白堊紀中期，被子植物拓展到整個地球，蔚為主要景觀，也為哺乳類提供新的食物來源，包括植物的果實和花朵，還有以植物為食的昆蟲。獸類的三磨楔臼齒具有磨碎和切割的雙重功能，是處理這類新食物的完美工具，獸類因此大量繁衍。於此同時，齒列比較原始的哺乳類，例如會吃恐龍的爬獸類，數量就一路下滑，再也沒有存活到白堊紀以後。

對獸類而言，這種全新的覓食機會有如意外收穫，但依然沒辦法保證牠們會發展成功，因為其他競爭對手正蠢蠢欲動。從白堊紀中期到晚期，獸類飽食蟲子之際，其他一些較原始的哺乳動物類群也演化出複雜的齒列，適合切割並磨碎那些新興的被子植物。例如北方大陸到處可見多瘤齒獸類（multituberculate）的蹤跡，這類長有暴牙的小獸看起來很像大鼠，但其實與齧齒類並非近親，只是因為吃類似的食物，體形呈現趨同演化的結果。美國華盛頓大學的威爾森（Gregory Wilson）和芝加哥大學的葛羅斯尼克爾（David M. Grossnickle）最近應用複雜的統計分析方法，研究化石測量值的龐大資料庫，發現多瘤齒獸類在白堊紀最晚期繁衍得相當旺盛，不但演化出許多物種，也長成更大的體型、發展出更精緻的臼齒，彷彿與不斷拓展的被子植物跳著演化雙人舞。

南方大陸似乎也居住著獸類的競爭對手。古生物學家對於白堊紀晚期的南方哺乳類仍然所知不多，不過一些令人興奮的新發現顯示，當時有個奇怪的類群大量繁衍，稱為剛瓦那獸類（gondwanatherian，雖然有這樣的名稱，但並非真正的獸類）。數十年來，這種謎樣哺乳類的唯一記錄只有零散的牙齒，那是具有琺瑯質的高冠臼齒，像馬和牛的牙齒一樣會終生不斷生長，很適合用來磨碎質地粗硬的植物。2014年，美國紐約石溪大學的克勞瑟（David Krause）帶領研究團隊，挖掘出剛瓦那獸類的第一個頭骨，歸屬於全新的幸運獸屬（*Vintana*），生活在白堊紀非常晚期的馬達加斯加；這種原始哺乳類長得很像河狸，可能食用最早演化出來的一些草本植物。

到了大約6600萬年前的白堊紀最末期，哺乳類整體

由於具備了功能較廣的三磨楔臼齒，獸類開始變得多樣化，這些演化路線最後發展成今日主要的哺乳動物類群。

發展得相當好。自從在三疊紀初登場後，牠們確實走了好長一段路，演化出各種吃昆蟲的獸類、嚼食植物的多瘤齒獸類和剛瓦那獸類等，散佈在食物網內，而高居最頂端的動物則是像暴龍之類的大型恐龍。然而，棲息在林木下層的哺乳類，數量還是很有限，無法大肆拓展、搶佔新棲地。

挺過寒冬，趁勢崛起

不過，牠們的機運卻在一瞬間改變了（當然也包括其他許多生物）：當時有一顆小行星從天而降，引發一連串的野火、海嘯、地震和火山噴發，在短時間內重新塑造地球。對恐龍來說，由小行星引發的這些大災難以及較長期的氣候和環境變遷實在難以承受，於是沒多久，這些稱霸了1億5000多萬年的雄偉生物便被掃進史前垃圾箱裡。

哺乳類同樣感受到滅絕事件的劇烈震撼，牠們的數量也跟著走下坡，相關證據來自一項非常傑出的野外研究計畫，最初是由美國加州大學柏克萊分校的克萊門斯（William Clemens）主持，現在則換成威爾森；他們總共花費50年時間，以一絲不苟的態度，在蒙大拿州遍尋大滅絕時期遺留的化石。他們的研究發現，許多體型較大和飲食較為專一的哺乳類都與恐龍一起滅絕了。在白堊紀晚期才開始繁衍興盛的後獸類幾乎被掃蕩一空，幸虧有少數強悍的物種倖免於重重災難，否則牠們的後代，例如澳洲現存的袋鼠和無尾熊，絕對沒有機會演化出來。

同樣挺過那段時期的哺乳類還有一些最早期的胎盤類，像我們人類一樣能生下發育相對完整的幼體。分子時鐘是根據現存物種之間的DNA差異，估算出久遠以前的祖先彼此大約在何時產生演化分歧；這樣的研究指出，胎盤類的共同祖先是在白堊紀恐龍的腳下演化出來，但是直到白堊紀末期的滅絕事件之後，這些先進的哺乳類才急速發展，迸發出各個主要的現代子類群，包括齧齒類和靈長類。牠們之所以會有這樣突飛猛進的變化，理由很明顯：由於暴龍和三角龍之類的動物消失無蹤，這些胎盤類很快就再度演化，得以進佔各個可以利用的生態區位。

長久以來，研究人員都猜測恐龍之死有助於哺乳類崛起，而現在，我們對這件事有更清楚的了解：準確來說，它就像火花，點燃了胎盤類的演化契機。如同所有的革命性劇變，這個過程發生得非常快速，約莫在幾千年之間，以地質學的角度來看算是極短的時間。本文作者之一布魯賽特曾在美國新墨西哥州進行野外研究，對這個演化關鍵時刻得到更全面的了解，包括哪些哺乳類撐過那場大災難，以及這些倖存者的飲食和行為如何幫助牠們生活在災難後的世界。關於哺乳類如何在恐龍滅絕之後百家爭鳴，當地納西棉托地層（Nacimiento Formation）綴有絢麗條紋的惡地地形保存了全世界最完整的化石記錄。新墨西哥自然史與科學博物館的威廉森（Thomas Williamson）與布魯賽特合作，在這些岩層間搜尋超過25年，蒐集到數千件化石，威廉森幾乎能詳述每一件化石的細節，這歸功於他有如照相般的精準記憶。那些包含頜骨和牙齒的化石歸屬於許多種哺乳類，從鼩鼱大小的食蟲動物、劍齒虎之類的食肉動物，乃至於像牛一樣大的食草動物都有。小行星撞擊事件後僅僅過了50萬年就有胎盤類的生活痕跡，這清楚顯示出一旦牠們得到機會，可以多麼快速就進佔整個地球。

由於有牠們的成功發展，我們人類才能在這裡訴說整個故事。威廉森在新墨西哥州挖掘出來的胎盤類中，找到一副骨骼歸屬於一種如幼犬大小的動物，名為托雷洪獸屬（*Torrejonia*），具有瘦長的四肢和細長的腳趾。牠生活在大約6300萬年前，看著牠那優雅的骨骼，你幾乎可以想像牠在樹林間跳躍、細瘦腳趾抓握樹枝的模樣。托雷洪獸屬是已知最古老的靈長類之一，是我們的遠古表親。又經過大約6000萬年後，這些最初的小型原始靈長類演變成用兩足行走、具有推理能力的大猿。這只不過是哺乳類演化旅程的另一個章節，整個旅程走到現在已歷時兩億年之久，而且依舊不斷往前延伸。SA

王心瑩是清華大學生命科學研究所碩士，目前從事編輯和翻譯工作。

延伸閱讀

The Origin and Early Evolution of Metatherian Mammals: The Cretaceous Record. Thomas E. Williamson, Stephen L. Brusatte and Gregory P. Wilson in *ZooKeys*, Article No. 465. Published online December 17, 2014.

An Arboreal Docodont from the Jurassic and Mammaliaform Ecological Diversification. Qing-Jin Meng, Qiang Ji, Yu-Guang Zhang, Di Liu, David M. Grossnickle and Zhe-Xi Luo in *Science*, Vol. 347, pages 764–768; February 13, 2015.

想了解更多關於哺乳類演化過程的資訊，請見網站：**ScientificAmerican.com/jun2016/mammals**

橙劑迷霧

籠罩越南



搜尋越戰未爆彈：2011年，軍隊在越南峴港機場搜索越戰未爆彈，之後工人會挖出那裡的土壤加熱以破壞戴奧辛。戴奧辛是橙劑裡的一種毒性化合物，美軍在1960年代越戰期間在越南大量噴灑橙劑這種落葉劑。

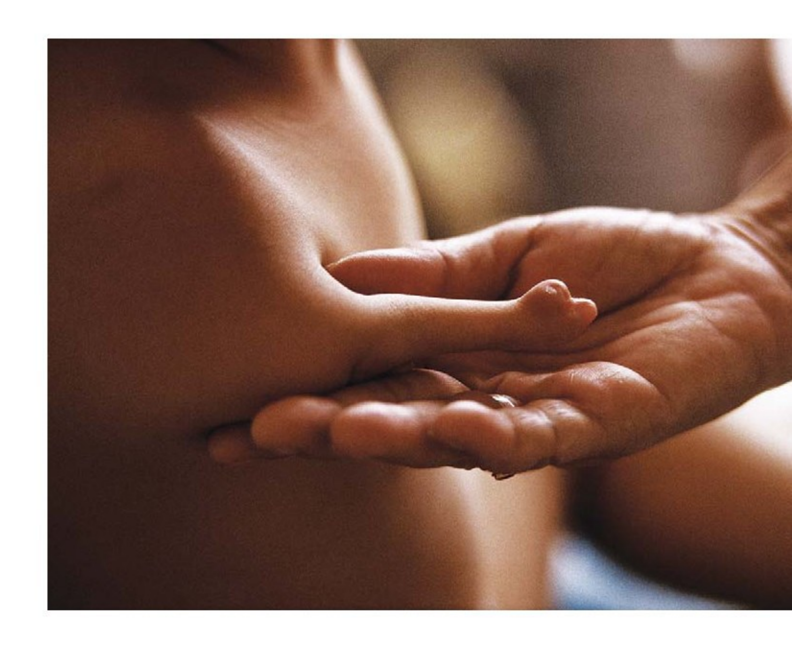
越南政府堅信，美軍在越戰時期噴灑臭名昭彰的落葉劑「橙劑」，至今持續危害越南人民的健康，並導致許多新生兒先天缺陷，然而科學界仍未有定論。

撰文／施密特（Charles Schmidt）
翻譯／林雅玲



施密特（Charles Schmidt）
美國自由記者，現居緬因州，關注全球健康和環境議題。他親赴越南採訪報導越戰殘留的落葉劑「橙劑」對越南人民的影響。





越南男孩丹（化名）有著可愛的笑容，但無法說話，他的母親蓮恩（化名）說他有智能障礙。丹出生時有唇顎裂和先天性心臟病，在保溫箱辛苦地度過人生第一個月。他現在八歲了，但是瘦得不成人形。不久前，蓮恩在峴港家中受訪，疲倦地談到兒子的多種需求，而丹則在一旁玩著他的玩具車。我會接觸到蓮恩這起個案，是透過美國私人援助組織「越南兒童」引介，他們負責關懷峴港的貧困家庭。我和蓮恩坐在面對大街的簡陋房間裡喝茶聊天，她家裡掛著越南共產黨革命領袖胡志明的畫像，一旁則是全家福照片。我問她是什麼原因導致丹身心障礙，原本輕聲細語的蓮恩突然強硬起來，她雙眼閃著怒火、透過翻譯人員表達她的憤怒：「這是橙劑造成的！」

美國在越戰期間為了找出敵軍所在，大量噴灑落葉劑「橙劑」以清除茂密植被。但橙劑內含戴奧辛，這種強效毒性化合物可以在環境中持續存在幾十年。丹的祖父在重度噴灑橙劑的中部高原打仗，父親則在峴港工作，後來發現峴港村民經常食用的鴨子和魚類都受到戴奧辛污染。現在已知人類長期暴露於戴奧辛中，可能導致癌症、心臟病與其他疾病。不過蓮恩堅信，丹的情況是遺傳自父親和祖父，因為他們曾接觸戴奧辛。越南政府把丹歸類為「疑似橙劑受害者」，聲稱越南有上萬名的戰後第一代與第二代，由於父母曾接觸戴奧辛，而遺傳到健康方面的問題。

美國科學家根據當時參與越戰的美軍留下的醫療記錄，分析了橙劑與十幾種疾病間的關聯性，包括白血病、何杰金氏淋巴瘤和帕金森氏症。美國政府也針對這項分析結果，給予這些參與越戰的退伍軍人適度賠償。

不過美國政府拒絕承認橙劑也傷害了越南人的說法，部份原因是越南沒有提供明確的資料指出當時哪些人接觸過橙劑：混亂的戰後歲月，越南的醫療記錄參差不齊、人口也大幅遷移，因此難以追查接觸過橙劑的人。越南聲稱他們的資料與數據是可靠的，儘管如此，分歧對立的看法仍持續多年。雖然美國的動物實驗發現，戴奧辛造成的基因損傷可能遺傳給後代，但是物種之間的易受性差異相當大，目前也沒有人體臨床研究。威斯康辛大學麥迪遜分校的毒物學家摩爾（Robert Moore）指出：「動物實驗的研究結果能否推論到人類身上，非常難以證明。」

為了穩定國際關係，美國國會於2014年12月首度通過五年2100萬美元的人道援助方案，針對目前居住在越戰期間橙劑噴灑地區的嚴重殘疾人士，提供專門援助。阿斯本學院的越南橙劑議題計畫前主任貝里（Charles Bailey）認為，這項援助方案是很大的突破，可確保「我們的人道援助真正用在最需要的人身上」。但這項援助方案並沒有明確指出是橙劑造成殘疾，與其說是承認罪責，更像是緩和越南態度的象徵性做法。距離越戰結束、美軍撤出西貢（今胡志明市）已40多年了，然而

重 點 提 要

■越南聲稱，越戰期間美軍噴灑在越南的落葉劑「橙劑」，導致當時接觸到的人，其後代子孫出現先天缺陷。

■美國動物實驗顯示，橙劑成份中的戴奧辛所造成的基因損傷，有可能遺傳給後代，不過物種之間的易受性差異甚大，目前也還沒有人體臨床研究。

■美國科學家認為，越南的科學研究把接觸橙劑與新生兒先天缺陷連結在一起，這樣的結論是有問題的。越南政府則禁止美國專家在越南進行橙劑相關研究。

■儘管美國不願承認罪行，美國國會仍核准2100萬美元援助越南殘疾人士，但越南認為金額應該要更高。

PRECEDING PAGES: NGUYEN HUY KHAM *Reuters*; THIS PAGE: KAZUYOSHI NOMACHI *Corbis*





先天缺陷問題嚴重：越南聲稱，越戰時期接觸到橙劑的人，其後代子孫有高達上萬人受到先天缺陷的折磨，例如肢體畸形（左頁與本頁圖片），有的甚至只有一邊肩膀和一隻手且缺少手臂。然而美國政府表示，有很多因素都可能造成新生兒先天缺陷。

PAULA BRONSTEIN *Getty Images* (*left*); CHAU DOAN *Getty Images* (*right*)

橙劑影響越南世代健康的問題，依然在激烈爭辯中。

禍首戴奧辛

現今的峴港，有著枝繁葉茂的林蔭大道、度假村和時髦咖啡館，與越戰期間美軍進駐的港口小鎮相去甚遠。前往峴港舊空軍基地的主要道路上充斥著踏板車和摩托車，舊空軍基地目前已成峴港國際機場。1962年，美軍和南越軍隊正是從此處啟動「牧場助手行動」（Operation Ranch Hand），也就是除草作戰計畫。美軍在南越政府要求下噴灑的橙劑，是由兩種除草劑2,4-D和2,4,5-T等比例混合而成，由孟山都和陶氏化學公司製造。越戰期間美軍還噴灑了其他除草劑，包括白劑、藍劑、粉劑、綠劑和紫劑，都是以運送圓桶外部的顏色條紋來命名。使用除草劑的目的是除去敵人藏身的叢林，噴灑範圍主要包括南越和寮國部份地區，飛機從空中噴灑除草劑，接觸到除草劑的植物會在兩天內死亡。直到1969年才發現橙劑和其他除草劑含有戴奧辛中毒性最強的TCDD。哥倫比亞大學衛生政策與管理名譽教授斯特爾曼（Jeanne Stellman）在2003年發表一份分析結果，明確指出1971年牧場助手行動結束時，至少已噴灑了9092萬公升的除草劑，估計當時有210萬～480萬名村民暴露其中。

動物研究指出，戴奧辛是已知最毒的化學物質之一。直接接觸TCDD會造成動物出現肝受損、癌症和免疫問題，也嚴重危害子宮裡的胎兒。餵食懷孕小鼠不到十億分之一比例的劑量（相當於在6萬3645公升的水中加入一滴TCDD），會導致雄性胚胎出現雌性性徵。如果提高為千萬分之一的劑量，會導致齧齒動物和魚類出現先天缺陷，例如顎裂、腎功能異常、心臟問題和骨質疏鬆。不過TCDD對生物的作用機制仍是個謎，有些物種對於低劑量就很敏感，有些物種的耐受度則比較強；也有一些物種一開始對TCDD很敏感，但隨著年齡增加、耐受性也增加。北卡羅來納州國家環境健康科學研究所所長柏恩鮑姆（Linda Birnbaum）提到，即使同一物種也有個體差異。基於科學倫理無法研究人類的易受性，這種不確定性帶來科學爭論，人體的TCDD安全劑量是多少，莫衷一是。

DNA損傷影響世代健康？

參觀過胡志明市戰爭遺跡博物館，遊客可能會以為這些科學爭論都已解決。橙色牆壁上懸掛臉部扭曲的人像照片，一旁則有地圖標示落葉劑噴灑的地區，還有標誌宣稱戴奧辛對DNA和基因的傷害「可能會遺傳許多世代」。越南醫院裡設有橙劑受害者病房，包括接觸過橙劑的人與他們的後代。

實驗大鼠的研究結果雖然無法證明越南戰後世代所經歷的折磨源於戴奧辛，不過這些研究暗示這是有可能的。戰爭期間所接觸到的毒物，可能在身體易受性較高的時間引起精子或卵子再程式化，透過精卵結合傳給下一代。

最近科學家在這方面有了重要進展，指出戴奧辛可能會導致長期甚至是跨世代的影響。世界各地的實驗室透過囓齒動物實驗找到新證據，發現TCDD會改變外遺傳基因組。生物透過外遺傳機制來調控基因的活化時機，發育中胚胎的細胞即透過外遺傳調控，持續分化成不同組織。例如，心搏細胞的發育正是透過外遺傳調控活化特定基因，而另一個關閉特定基因的外遺傳調控則使神經細胞傳遞神經脈衝。

TCDD會影響外遺傳調控，因此可能在身體排除毒物很久之後才顯現後果。華盛頓州立大學的生物學家史金納（Michael Skinner）表示：「影響不一定在接觸當下就出現，相反地，外遺傳基因組可能會停留在變異狀態，一生當中隨時都可能出現狀況。」辛辛那提大學醫學院分子生物學家普加（Alvaro Puga）的實驗室支持這項說法，普加的研究團隊讓懷孕小鼠接觸TCDD，發現幼鼠出生時雖然就有非致命性的心臟受損，但直到成年後才真正出現危險。

當史金納讓懷孕大鼠接觸高劑量的TCDD時，他發現第二代和第三代大鼠的卵巢和腎臟出現病變的機率較高，而第四代大鼠精子數量較低。史金納被問到實驗結果是否能用來解釋越戰當時接觸戴奧辛的越南人情況，史金納肯定地說：「可以。」然而有些科學家質疑他的研究與越戰案例的相關性，部份原因是他讓實驗大鼠接觸的劑量，遠高於當時人們可能接觸的劑量。TCDD在環境中可長期存在，因此除了造成生殖細胞變異，也可能引發其他效應，這使得越南橙劑議題變得更複雜。

TCDD在人體的半衰期為7~10年，在土壤和沉積物中的半衰期可持續幾十年，導致TCDD累積在魚類和鴨隻當中，這些都是越南人的主食，也是現年八歲的丹的父親經常攝取的食物。1990~2000年代中期，加拿大哈特斐德環境評估公司進行這方面的研究並找出七個熱點地區，這些地區土壤和沉積物的戴奧辛含量達每十億分之一以上（最新統計指出可能有高達28個熱點）。哈特斐德公司國際經營部門主管博伊文（Thomas Boivin）指出，前三個熱點都落在前南越和美國空軍基地峴港、富吉與邊和。普加認為，人吃下受到污染的食物後，TCDD可能先儲存在脂肪裡，直到有一天身體累積TCDD的速度超過清除的速度，便可能釋出到血液中。



威力持久的橙劑：噴灑橙劑這種落葉劑會使樹木葉子凋落，使軍事部隊難以隱藏其中。1970年受到橙劑殘害的紅樹林，五年後仍然一片枯槁（下圖），沒有噴灑橙劑的樹林則生長茂密（上圖）。

AP PHOTO

全球新生兒先天缺陷的比率已達3%，而越南是全世界使用農藥殺蟲劑最多的國家，研究人員證實，殺蟲劑也會導致動物的先天缺陷。另外，有些越南民眾長期處於膳食葉酸不足的狀態，葉酸能幫助胎兒神經系統發育良好。

令人費解的數據

越南負責橙劑議題的政府機構是「委員會33」，主席黎濟山（Le Ke Son）最近剛退休，我透過電子郵件與他交換意見，他援引未發表的越南研究，堅信「噴灑地區和各熱點的出生畸形比率，確實比對照區更高。」黎濟山是專精毒理學的醫生，持續主持越南的戴奧辛國家研究計畫，比起越南政府的強硬態度，他的觀點較合理。然而美國科學家常質疑越南的科學研究，因為越南的科學論文很少發表在西方有高影響力的學術期刊上，而且越南政府也不允許美國專家在越南進行研究。美國路易維爾大學醫學院兼任教授謝克特（Arnold Schecter）曾在1995年試圖攜帶人類血液樣本離開越南進行戴奧辛分析，卻受到越南政府阻擋。

2000年合作研究露出曙光，當時美國紐約州立大學奧巴尼分校健康與環境研究所所長卡本特（David Carpenter）提出五年100萬美元的研究計畫。他規劃在三個城市蒐集醫院裡即將臨盆的孕婦的血液樣本：第一個城市是胡志明市，這裡接近越戰時期橙劑噴灑的中心地區，其次是距離噴灑橙劑區遙遠的河內市，最後是遭受廣泛噴灑的承天順化省。研究人員打算測量血液樣本中戴奧辛的含量，分析戴奧辛與三種先天缺陷（缺少四

肢、神經管缺陷和唇顎裂）的關聯性。但這項計畫最後沒有執行，卡本特提到美國國家衛生研究院（NIH）決定視越南的配合程度來核准計畫，越南方面評估了一年之後，NIH宣佈只資助一項35萬美元的先導研究，越南更加猶豫不決，再加上其他阻礙，NIH和紐約州立大學奧巴尼分校決定終止這項計畫。卡本特說：「我花了三年撰寫計畫提案並多次前往越南，然而一切石沉大海。這是最好的合作機會，我敢肯定沒有下一次了。」卡本特提到，這項提案讓越南和美國政府都感到緊張，他說：「美國擔心如果我們發現戴奧辛和先天缺陷有關，那美國就得負賠償責任；而越南擔心如果我們沒有得到這個結論，他們便無法再把人民的先天缺陷歸咎於美國。」

卡本特也承認進行這項研究或是類似的研究，其實很困難。他提到檢驗戴奧辛需要採集大量血液樣本而且檢測技術複雜，全世界只有少數實驗室有能力進行。美國國家癌症研究院的賀奇（Maureen Hatch）回顧越南先天缺陷的研究、醫療記錄和官方統計數據，發現一連串的問題，包括戰前的基準測量不足與未噴灑區域的控制組設定不當。儘管如此，她和同事康斯塔伯（John Constable）在1985年發表的論文指出，一些研究似乎顯示大量且不尋常的先天缺陷：有些嬰兒出生時沒有大腦和顱骨，有些嬰兒出生時缺少眼睛或四肢萎縮變形。她和康斯塔伯的結論是，和橙劑裡的TCDD關聯性最高的是葡萄胎妊娠（molar pregnancy）：精子與死亡的卵子結合，在子宮長出類似腫瘤的組織，也可能癌化。

美國自1991年以來由美國國家醫學研究院（IOM）進行的越戰美軍健康研究，結果就比較明確。IOM在2014年的雙年度報告中指出，有充份證據顯示接觸TCDD與軟組織肉瘤、非何杰金氏淋巴瘤、何杰金氏淋巴瘤以及氯痤瘡有關。文中還提到「有限證據」也指出，接觸TCDD與喉癌、肺癌、攝護腺癌、多發性骨髓瘤、早發性周邊神經病變、帕金森氏症、高血壓、缺血性心臟病、中風和第二型糖尿病等疾病可能有關聯。值得注意的是，這項報告認定除了脊柱裂屬於「有限證據」類別以外，所有把接觸TCDD與先天缺陷扣在一起的證據都不適當。如果退伍軍人能提出資料證明自己在戰時曾接觸橙劑，美國退伍軍人事務部會負擔健康損害的賠償。

免於內疚的援助

IOM的分類，似乎是美國官方承認的橙劑影響。不過貝里指出，有關橙劑是否也影響越南戰後世代的健康問題，仍「受困於因果關係、義務、賠償和責任的紛擾大海」。他認為新的援助方案應避開這些爭端，以美方資源優先援助少數的嚴重殘疾人士。佛蒙特州參議員萊希（Patrick Leahy）多年以來一直試圖解決戰爭帶來的長期環境威脅，他也協調這項援助方案。萊希自2007年以來，已爭取到將近一億美元來清理殘存在越南的戴奧辛。協助萊希處理橙劑議題的立法助理利瑟爾（Timothy Rieser）表示：「我認為我們所做的已超過科學認定的補償範圍，美國政府已用行動表達了接受有些越南民眾受到嚴重影響的可能性。現在的問題是，如何妥善解決這些問題？」黎濟山認同人道援助應優先協助熱點地區的殘疾人士，包括峴港、河邊等地。他說：「我想，投入2100萬美元的資金援助是美國政府值得肯定的第一步，但是這是不夠的。」

孟山都公司的發言人在與我的電子郵件往來中，既沒有證實也沒有否認，接觸落葉劑有可能污染環境或影響健康。信中指出，生產橙劑的孟山都公司並非現在的孟山都公司，兩者只是公司名稱相同。發言人補充道：「美國法院已經確認，協助政府製造橙劑的承包商不需為軍隊使用橙劑帶來的影響負責，因為承包商只是執行政府的要求。」這位發言人拒絕評論戴奧辛是否可能跨世代影響。陶氏化學公司以電子郵件回覆我，表示不會回應我的提問，公司網站上則聲稱是美國政府「主導橙劑的製造方式，並控制橙劑運輸、儲存和使用」。斯特爾曼認為，「化工公司和美國政府的大部份單位」都不希望越南的健康問題證實和橙劑有關。另一方面，她表示：「越南認為自己國內每名新生兒先天缺陷的案例都是接觸橙劑造成的。然而雙方都錯了，越南的新生兒先天缺陷可能有些歸因於橙劑，但其中的真實性不是目前科學研究可以下結論的，我們根本還沒獲得明確的研究結果。」SA

林雅玲於中央研究院國際研究生學程取得生物科技學博士學位，長期從事科普翻譯與寫作，現於中央研究院分子生物研究所擔任博士後研究員。

延伸閱讀

Agent Orange and Risks to Reproduction: The Limits of Epidemiology. Maureen C. Hatch and Zena A. Stein in *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis*, Vol. 6, No. 3, pages 185–202; 1986.

Dioxin (TCDD) Induces Epigenetic Transgenerational Inheritance of Adult Onset Disease and Sperm Epimutations. Mohan Manikkam et al. in *PLOS ONE*, Vol. 7, No. 9, Article No. e46249; September 26, 2012.

非營利援助組織「越南兒童」，請見網站：**www.childrenofvietnam.org**



一推一拉間，水母輕鬆游

水母巧妙運用物理學，成為在海洋中最有效率的游泳健將。

撰文／費雪曼（Josh Fischman）　翻譯／姚若潔

水母從不休息。一天24小時，一星期7天，牠們都不停在水中游泳，尋覓小蝦和稚魚等食物，一天可能移動長達好幾公里。水母是最有效率的泳者，把體型大小的因素考慮進去後，牠們游泳時所消耗的能量甚至比優雅悠游的海豚和悄聲梭巡的鯊魚還要少。「牠們在移動上的成本，也就是運動時消耗的氧，比所有其他游泳動物少了48%。」格默爾（Bradford J. Gemmell）如此解釋。他是美國南弗羅里達大學的海洋生物學家，最近和其他研究人員合作研究海月水母（*Aurelia aurita*），發現了水母高超泳技背後的秘密。

過去科學家認為水母能輕鬆游動的原因在於身體輕盈，因為牠們的身體大部份都是水。但水也有質量，仍必須花力氣推動。格默爾決定和史丹佛大學工程師達比利（John Dabiri）的團隊一起一探究竟，他們把一隻水母放進裝滿水的魚缸，並投入許多微小的玻璃珠，接著利用雷射光照亮玻璃珠，使水母四周的水流速度和水壓變化清晰可見，這時就可利用高速攝影機追蹤水母的移動。當水母的鐘狀身體（也就是構成身體主要部位的圓頂狀結構）收縮時，外側水壓會較低，內側水壓則較高。因為水會從壓力高處往壓力低處流動，水母便被向前帶動。研究團隊在2015年11月的《自然．通訊》中記述了他們的觀察。

緊接著他們還有更驚奇的發現。當水母舒張鐘狀身體的邊緣讓鐘張開時，原本在水母下方的高壓水流會上升，進入水母的身體中。格默爾解釋：「這使得水母在舒張身體時，還會產生第二波前進的動力。」要能做出這樣的動作，水母必須使鐘狀身體的邊緣上下掀動。水母身上大部份的肌肉圍繞著鐘狀身體排列成環狀，就像一圈圈疊起的橡皮筋；這種肌肉的排列方式有利於水母收縮身體。不過，北卡羅來納大學威明頓分校的生物學家薩特利（Richard Satterlie）最近發現，水母鐘狀身體最外緣的其他肌肉是以不同角度向外突出。這些肌肉讓水母得以彎曲鐘狀身體的邊緣，驅動周遭的水流，幫助水母成為非常有效率的泳者。SA



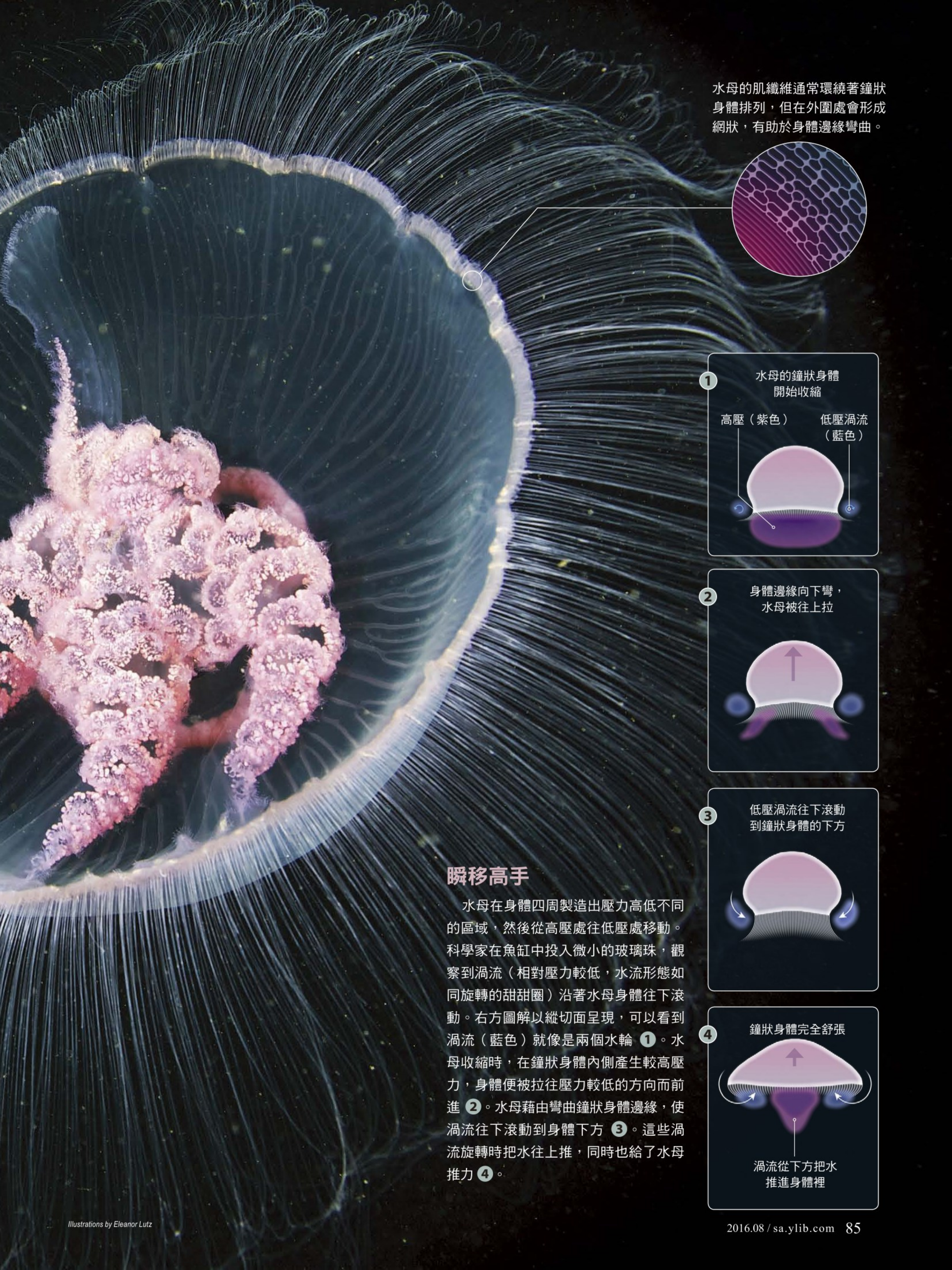
ALEXANDER SEMENOV

費雪曼（Josh Fischman）是*Scientific American* 資深編輯。

姚若潔是台灣大學昆蟲系碩士，英國布來頓大學視覺傳達博士候選人，現專事翻譯與寫作。

延伸閱讀

想看工程師達比利解釋水母如何啟發潛水艇的設計，請見網站：
ScientificAmerican/may2016/jellyfish-physics



瞬移高手

水母在身體四周製造出壓力高低不同的區域，然後從高壓處往低壓處移動。科學家在魚缸中投入微小的玻璃珠，觀察到渦流（相對壓力較低，水流形態如同旋轉的甜甜圈）沿著水母身體往下滾動。右方圖解以縱切面呈現，可以看到渦流（藍色）就像是兩個水輪 ❶。水母收縮時，在鐘狀身體內側產生較高壓力，身體便被拉往壓力較低的方向而前進 ❷。水母藉由彎曲鐘狀身體邊緣，使渦流往下滾動到身體下方 ❸。這些渦流旋轉時把水往上推，同時也給了水母推力 ❹。

子非魚，安知魚之笨？
魚類一直被認為是各種脊椎動物之中的「愚」者，但
魚類中其實也不乏具有學習能力、懂得
使用工具，甚至精益求精之輩！

撰文／鮑爾科姆（Jonathan Balcombe）
翻譯／姚若潔

大智若魚

美國演化生物學家柏納迪（Giacomo Bernardi）在帛琉屬密克羅尼西亞群島附近海域潛水時，目睹了一個不尋常的景象，而且很幸運地用錄影機捕捉下來。影片中一條楔斑豬齒魚（*Choerodon anchorago*）先是製造水流，找出藏在沙中的蛤蠣，接著銜起這隻軟體動物，帶到距離約30公尺遠的一塊大岩石處，然後迅速甩頭、並且算準時間往岩石拋擊蛤蠣，幾次下來竟然把蛤蠣殼成功敲開。接下來20分鐘，這條豬齒魚靠著重複相同的步驟，又敲開並吃掉了三個蛤蠣。

柏納迪是加州大學聖克魯茲分校的教授，被公認是第一位拍攝到魚類使用工具的人。每每重看柏納迪的影片，我都會有新的驚喜。一開始我沒注意到，這條機智的豬齒魚並不是用一般人預期的方式找出蛤蠣，也就是利用嘴部噴出水柱。實際上牠會先把頭從目標物轉開，然後藉著猛力關閉鰓蓋來製造一股水流，就像我們闔上書本時會產生氣流一樣。而豬齒魚的這個覓食行為不只是使用工具這麼簡單：豬齒魚能夠在不同時間與地點，靈活運用一連串具邏輯性的行為，足以說明牠有計畫能力。這樣的行為讓我聯想到過去在靈長類和鳥類身上觀察到的現象，例如黑猩猩使用樹枝或草莖把白蟻從巢中「釣」出來；巴西的卡布欽猴把表面平整的大石頭當做砧板，放上堅果，再利用沉重的石塊去敲擊；又或者烏鴉把堅果丟到交通繁忙的十字路口，然後趁著紅燈時俯衝而下、撿拾被車輪輾開的堅果碎片。

這條豬齒魚在前往目的地途中，曾停下來試著利用另一塊較小的石頭做為敲擊工具。牠在那裡隨意嘗試了兩次拋擊，然後就若無其事離開、繼續尋找下個目標，好像判定剛剛那塊石頭不值得浪費牠的時間。從任何

重點提要

- 魚類一直被認為智力低下，但新的觀察和研究對這項假定提出質疑。
- 例如楔斑豬齒魚，已有在海洋中使用工具的影片記錄。
- 射水魚可以精準噴射水柱來擊落獵物，牠們的行為也顯示出，魚類會以同伴的角度假想其經歷的情境，藉此學習複雜的技巧。



猝不及防：射水魚精準射出水柱，擊落沒有絲毫防備的獵物。

WARREN PHOTOGRAPHIC

動物來看，這都是了不起的認知能力。魚能展現這種能力，顯然與目前普遍接受的假設相牴觸，也就是魚類的智力處於動物智力光譜的黯淡底端。

然而柏納迪那天看到的，其實不是異乎尋常的特例。科學家已經在其他魚種注意到類似行為，包括澳洲大堡礁的邵氏豬齒魚（*Choerodon schoenleinii*）、弗羅里達海岸附近的黃首海豬魚（*Halichoeres garnoti*）以及飼養在魚缸中的哈氏錦魚（*Thalassoma harwicke*）。在哈氏錦魚的例子中，因為飼養員投入魚缸的飼料顆粒太大，哈氏錦魚無法一口吞下，同時飼料又太硬，讓牠無法咬碎。結果這條魚竟然把飼料銜到魚缸中一塊石頭處，就像楔斑豬齒魚對付蛤蠣的做法般，銜著飼料多次用力敲擊石頭、最後使飼料碎裂開來。觀察到這個行為的是波蘭弗羅茨瓦夫大學的動物學家巴斯科（Łukasz Paśko），他看到哈氏錦魚表現出這樣的敲擊飼料行為共有15次；而他第一次注意到時，這條哈氏錦魚才剛放入魚缸幾個星期而已。巴斯科描述該行為「有著令人訝異的一致性」，而且「幾乎每次都成功」。

頑固的懷疑論者可能會說：這種例子並不是「真正」的使用工具，因為這些魚沒有使用某一個物體去操縱另一個物體，不像人類用斧頭劈木塊為柴，或黑猩猩用樹枝取得美味的白蟻。巴斯科自己則把哈氏錦魚的行為形容為「類似」使用工具，但這沒有貶低的意思，因為正如巴斯科所指出：利用單一工具來敲開蛤蠣殼或擊碎飼料，對魚來說原本就是不可能的。首先，魚沒有可用來拿取物體的四肢；其次，由於水本身的黏滯性與密度，導致魚在使用單一工具時很難產生足夠的動量（你可以嘗試在水中丟石頭來擊碎核桃看看）；對魚來說，另一種可能的選項是用口咬住工具，但這是沒有效率的，因為食物的碎片會隨水流走，大有可能被其他飢餓的水中生物白白搶去。

水中神射手

正如楔斑豬齒魚會製造水流來推動沙子，射水魚（*Toxotes*）也會利用水的力量，不同的是，射水魚是把水柱當做狙擊獵物的武器。這些體長約10公分的熱帶神射手，銀白色的身體側面有一列漂亮的黑色斑塊，大多棲息在半鹹水的河口、紅樹林、溪流等地。牠們的眼睛寬大而靈活，足以形成雙眼視覺。牠們也有顯眼的下顎，主要做為槍管使用。當射水魚準備要噴射水柱時，會把舌頭抵住上顎的一條溝槽，然後瞬間壓縮喉部與口部，便可以噴出水柱到空中，射程可達三公尺之遠。對



鮑爾科姆（Jonathan Balcombe）
動物行為學家兼科普作家。美國人道協會科學與政策學會的動物感知能力研究主持人，也是該學會期刊《動物感知》（*Animal Sentience*）的副主編。

於距離一公尺的目標物，某些射水魚的準確度甚至達到100%。若有甲蟲或蝗蟲在射水魚出沒的水域上方休息，可就要倒大楣了。

射水魚的行為明顯具有靈活性。牠們可以噴射出單一發水彈，也可以像機關槍般連發。根據記錄，牠們射中過的目標物包括昆蟲、蜘蛛、科學模型獵物，甚至觀察者的眼睛及嘴上叼著的菸。射水魚也會針對獵物的大小來決定水槍需填裝的彈藥多寡，在對付較大、較重的目標物時便使用較多的水。當獵物停棲在射水魚垂直正上方時，有經驗的射水魚甚至會瞄準獵物的下方，好讓牠直接跌入水中，而不是掉落在距離較遠的岸上。

對射水魚來說，使用水槍只是各種覓食方法的選項之一。多數時間，射水魚就像一般的魚一樣在水面下覓食。如果某樣獵物距離水面上方不到30公分，牠們或許會採用比較直接的方法，跳起來一口把牠吃進肚子。

射水魚是群居性的魚類，具有敏銳的觀察與學習技巧。牠們的掠食能力並不是與生俱來，所以初學者必須經過長時間的訓練，才能成功射下快速移動的目標物。德國埃蘭根–紐倫堡大學研究人員在人工飼養的環境中研究射水魚，發現毫無經驗的個體連移動速度緩慢到每秒低於1.3公分的目標物也射不中；但當這些新手射水魚看過別的個體射擊移動目標1000次（包括成功與失敗的射擊）之後，便能夠成功射中快速移動的目標。這些科學家的結論是，當新手射水魚看到其他個體的掠食動作時，會以對方的角度假想其經歷的情境，藉此學習困難的技巧；生物學家稱之為「觀點取替」（perspective taking）。射水魚在掠食行為上展現的認知能力，程度可能不及人工飼養的黑猩猩把受傷的椋鳥帶到樹上、讓牠重新飛向天空，但仍然是透過其他個體的觀點來了解某些事情。

透過高速攝影，可以發現射水魚會針對獵物飛行的速度與位置使用不同的射水策略。當射水魚使用研究人員所稱的「預測導向策略」時，會依據昆蟲飛行的速度來調整射出水柱的軌跡，也就是說，當獵物飛行速度較快時，牠們瞄準的位置也會往前更多。如果獵物飛行的位置較低（通常在水面上方約18公分以內），牠們會使用不同的策略，研究人員稱之為「旋轉發射」：這種動



智取蚌肉：邵氏豬齒魚把蛤蠣拋擊在石頭上以打開蛤蠣殼，有些科學家認為這是一種使用工具的例子。

COURTESY OF SCOTT GARDNER

作是在噴射水柱的同時水平旋轉身體，使水柱的噴射軌跡與目標物在空中橫向移動的路徑剛好一致。展現這些高超掠食技巧的射水魚，必定會讓牠們的指導前輩都感到非常驕傲！

射水魚也能調整因光線通過空氣與水而在視覺上產生的失真現象，方法是藉由掌握目標物在視覺上呈現的大小及其相對位置的物理定律。透過這種可以一般化的經驗法則，即使從不熟悉的角度與距離看過去，射水魚也可以清楚掌握目標物的實際大小。我猜想射水魚是否也研究昆蟲學，會用肉眼鑑定昆蟲，判斷那些昆蟲是否美味、體型是否太大或太小而不值得多花力氣，又或者那些蟲是否具有螫針。

事實上，射水魚利用噴射水柱來掠食的歷史至少和人類投擲石頭的時間一樣早，而我懷疑豬齒魚利用石頭敲開蛤蠣殼的時間，甚至比我們的祖先開始打製鐵器的時代還早。但魚類是否可能出於自發性使用新工具，就像我們在面臨意外狀況時能立即想出因應之道？2014年5月，一項研究顯示了魚類使用新工具的可能性，主角是起初為了水產研究而飼養的大西洋鱈。研究人員在每條魚背上接近背鰭的部位附上一個彩色標籤，用以分辨每隻個體。牠們生活的水缸中有一個自動餵食器，可透過一條線啟動，這條線的末端有一個環，這些魚兒很快就學到可以用口咬住環並拉扯，來得到一口食物。

有些鱈魚顯然發現牠們可以把環套在自己的標籤上、游開一小段距離來啟動餵食器。這些聰明的鱈魚透過數百次的「試驗」來磨練技巧，最後達成一連串經過精細調整、以目標為導向的協調動作。這是一種真正的進步，因為比起用口拉環，使用這種新方法的個體可以節省時間、更快吃到飼料。魚類能自然地與陌生的餵食裝置互動已經夠厲害了，但正如本例顯示，有些魚甚至發明新方法，運用身上的標籤更有效率地取得食物，展現出魚類的靈活性與原創力。

魚類使用工具的情形似乎局限於某些類群。澳洲魚類生物學家布朗（Culum Brown）指出，魚類中的豬齒魚或許可與哺乳類中的靈長類或是鳥類中的鴉類（包括烏鴉、渡鴉、喜鵲和松鴉）相比擬，在使用工具方面有著許多超乎預期的觀察記錄。比起陸棲生活，在水中使用工具的機會本來就比較少，但我們已經知道：演化解決問題的可能性沒有界線，豬齒魚和射水魚都是其中的重要例證，而且很有可能的是，牠們其實還有非常多能力相當的魚類同伴存在。SA

姚若潔是台灣大學昆蟲系碩士，英國布來頓大學視覺傳達博士候選人，現專事翻譯與寫作。

延伸閱讀

本文摘錄、改寫自《魚知不知？水族遠親的內心生活》（*What a Fish Knows: The Inner Lives of Our Underwater Cousins*），鮑爾科姆（Jonathan Balcombe）著，由法朗–斯特勞斯–吉勞克斯出版公司於2016年6月發行。

The Use of Tools by Wrasses (Labridae). G. Bernardi in *Coral Reefs*, Vol. 31, No. 1, page 39; March 2012.

Innovative Behaviour in Fish: Atlantic Cod Can Learn to Use an External Tag to Manipulate a Self-Feeder. Sandie Millot et al. in *Animal Cognition*, Vol. 17, No. 3, pages 779–785; May 2014.

Competition Drives Sophisticated Hunting Skills of Archerfish in the Wild. Ingo Rischawy et al. in *Current Biology*, Vol. 25, No. 14, pages R595–R597; July 20, 2015.

想觀看射水魚如何用水柱射下獵物的影片，請見網站：**ScientificAmerican.com/jun2016/archer-fish**





尼爾（Clive R. Neal）
美國聖母大學地質學教授，主要研究月球的起源和演化。日前接任NASA行星科學部門資深審核委員會的主席，負責審核太空任務。

重返月球很重要

月球不僅是前往火星的中繼站，也是開創新產業與增加工作機會的新基地。

撰文／尼爾（Clive R. Neal）

歐洲太空總署（ESA）署長韋爾納（Johann-Dietrich Woerner）幾個月前立下願景，將建立跨國合作的「月球村」（Moon Village）。這讓我想起2004年1月美國前總統布希提出〈太空探索願景〉，表示美國將帶領世界重返月球。等到人類懂得如何在另一個星球生活並工作，便可啟程前往終極目標：火星。



布希的想法具有激勵效果，因此除了美國航太總署（NASA）之外，國際間至少有13個太空機構希望參與登月計畫。可惜的是，這項計畫有很嚴重的缺陷：NASA想要重現阿波羅計畫，把所有必需品用一次性載具運上月球。

阿波羅計畫的確是了不起的成就，但難以持續發展，因此於1970年代初結束。布希的願景顯然成本太高而難以實現。2010年，美國總統歐巴馬也宣示美國不需要重返月球，登月目標早已完成，下一步應該是直接前往火星。

然而，重返月球對太空探索的未來仍然十分重要，我們不只獲得在另一個星球生活的寶貴經驗，月球其實也擁有豐富的資源。例如，水冰電解後生成氧和氫，可用於燃料電池，也可做為液態火箭推進器的燃料。如果我們未來要前往火星（或其他行星），單是把這些燃料運離地球表面，就需耗費極大的能量。從月球發射升空會比較理想，因為月球重力只有地球的1/6。

重返月球或許也能像阿波羅計畫一樣，刺激新世代科技的發展，不過這次必須以穩定的步伐循序漸進。民眾希望看到努力的成果，而且不只在科技發展方面。舉例來說，建立由民間企業經營、繞行月球的太空船燃料補給站，可以銷售從月球開採提煉的燃料給各太空機構，把月球納入我們的經濟勢力範圍。這可大幅減少太空船從地球表面發射升空時的負重，降低太空任務的花費；也可促成許多新興產業誕生，創造更多高科技和高薪的工作機會。

月球探索行動的下一步應該是把探勘機器人送上月球，實地勘查各項資源，確認範圍、型態、分佈狀況，以及開採和提煉的難易程度，跨國合作將有助於推動這項關鍵行動。

NASA現在雖然正進行資源探勘者（Resource Prospector）任務，但預算相當吃緊，隨時可能停擺。俄羅斯也正與ESA密切合作月球資源探勘計畫（Luna-Resurs）。此外，別忘了中國，中國不僅已於2013年成功登月，也計畫未來幾年內趕上美國和俄羅斯，取得月球地質樣本。

美國目前希望利用自動太空船，從小行星取下直徑數公尺的石塊，放入繞行月球的軌道。如此一來，就可以藉由追蹤這個石塊，評估火星之旅的可能性。不過這項「小行星導向任務」可能不適合火星，因為在微重力環境下工作與在行星表面工作差別很大。這種嘗試很可能徒勞無功。

我們再回頭看看韋爾納提出的月球村。ESA在去年12月的「月球2020-2030」會議中提出這個概念時，除了美國仍然抱持觀望態度，許多進行太空計畫的國家都表示贊同。沒錯，火星是人類太空探索的終極目標，但美國擬定的火星計畫卻走錯了方向，月球將是協助我們達成目標的重要關鍵。我們必須改變人們對太空探索任務的看法，如此投入太空旅行的經費，才會成為真正有用的投資。（甘錫安 譯）SA

GETTY IMAGES



波哥（David Pogue）
美國雅虎網站科技專欄作家，
也是美國公共電視網（PBS）新星節目
迷你影集的主持人之一。

物聯網「聽」指令

在我們找到連網裝置的便利性之前，它們仍是笨拙的無線應用。

撰文／波哥（David Pogue）



1970年代晚期，我爸媽買了一台新的電視機，這是我們家第一台附有遙控器的電視機。我媽嚇到了，她說：「從沙發站起來，往前走兩公尺去轉台有那麼難嗎？」

不過事情是這樣的，歷史告訴我們，便利是消費者接受新科技的主要關鍵。不管人們變得多麼懶惰，能夠節省我們力氣的產品通常會是贏家。

這原本應該是物聯網（Internet of Things）的迷人之處。這個名稱是指能夠連上網路的裝置，通常這代表你可以用手機的應用程式來控制它們，例如燈光、恆溫器、冰箱、嬰兒監視器、咖啡機、監視攝影機、草坪灑水器、門鈴攝影機、掃地機器人。

你可以在家從遠端發動你的汽車，開啟車內的空調運轉一段時間，再去開車。你不在家時也可以查看誰在按門鈴，如果是你的賓客，甚至可以先開門讓他們進到家裡。不過到目前為止，物聯網卻成了拙劣銷售網。此刻，我猜你還是不能透過手機控制洗衣機。

如果便利一向無敵，為什麼大眾不吃物聯網這一套？諷刺的是，因為現在的物聯網還不是很便利。通常你要先下載應用程式、建立帳號，設定日常用品連上無線網路。有時，這個過程一切順利；有時，你會耗掉星期六整個下午。然後你才遇到真正的難關：應用程式無法彼此「溝通」。你必須打開一個應用程式來調整燈光，點擊另一個來控制喇叭音量，然後使用第三個來調節溫度。

產業界知道這些問題，他們急於訂定整合的標準，麻煩在於每家大公司都有自己的一套標準。舉例來說，Google有Thread、蘋果有HomeKit、高通公司一開始研發了AllJoy、三星有SmartThings。

此外，還有安全疑慮。我們真的要讓全世界的駭客連結到我們的廚房、空調以及其他家用設備嗎？尤其是我們的門鎖？

不過，並非沒有人買物聯網的帳。Nest與漢威等公司推出的連網恆溫器與家用監視攝影機，就獲得一些人支持。但是在剛起步的物聯網時代，竟然出現了暢銷商品：亞馬遜公司的「回聲」（Echo），那是一個黑色圓筒，能回應語音指令，就像家裡的Siri語音助理。即使你在房間的另一端，還是能命令它播放音樂、回答問題、查詢天氣等。

每個月，亞馬遜都會為「回聲」添加新功能，低調攻佔物聯網市場。如今，你可以開口要求「回聲」控制連網恆溫器（把溫度設定為26℃）、燈光（關掉樓下的燈）、音響（播放浪漫的吉他音樂）以及延長線插座（關掉電風扇）。你不需使用手機或打開應用程式，「回聲」會打點這一切。換句話說，語音控制是便利性的一大突破，而物聯網最不便利的就是這一點。

不過「回聲」這類產品無法解決物聯網的問題，語音控制沒有改善安全疑慮或上述的設定難關，而且只對特定的裝置發揮作用。最重要的是，語音控制應付不了一項最大的挑戰：人們或許根本不想用手機控制家電。有時，你只是想從沙發起身往前走兩公尺。（鍾樹人 譯）SA

Illustration by James Olstein



薛莫（Michael Shermer）
《懷疑論者》雜誌（www.skeptic.com）的發行人，最新著作是《道德弧形》（*The Moral Arc*）。

山羊奶剋愛滋？

疾病真正可怕的地方或許不在疾病本身，而是有不肖之徒利用病患的恐懼來獲利。

撰文／薛莫（Michael Shermer）

1991年，美國籃球傳奇球員魔術強森宣佈自己的人類免疫不全病毒（HIV）檢查結果為陽性時，猶如宣判自己死期將至，接著他立即從洛杉磯湖人隊退休，球迷也對他可能即將不久於人世感到難過不捨。但出人意料的是，1/4世紀後的今天，魔術強森仍維持正常生活；他是活躍的企業家、慈善家，也投身呼籲大眾預防HIV/AIDS（愛滋病）的工作。

魔術強森的故事是當代醫學偉大成就的代表。雖然目前愛滋病還無法根治，也沒有預防HIV的疫苗，但科學家已發展出俗稱雞尾酒療法的高效抗反轉錄病毒治療法（HAART），可顯著降低病毒量到無法偵測的程度，並減緩病情進展。年輕病患若早期確診並迅速展開治療，可存活至接近平均壽命。這點或許可說明，去年11月美國演員查理辛（Charlie Sheen）宣佈自己是HIV帶原者時，媒體報導與大眾惋惜聲就沒那麼強烈，因為多數人認為HAART將可救他一命。

在今年1月播出的電視節目「瑪爾脫口秀」中，有位查秋阿醫生宣稱用自己發明的關節炎山羊奶雞尾酒藥物治癒了查理辛的愛滋病。該療法根據的是查秋阿的「剋星理論」，也就是「每種疾病都有一種與之相剋的生物能對抗該病症，使患者恢復健康。」查秋阿表示，染上關節炎腦炎病毒的山羊，其乳汁就是HIV的剋星。據稱查理辛到墨西哥去拜訪他（查秋阿沒有美國行醫執照）並接受治療後不久，肝臟檢查結果就恢復正常。

查秋阿還誇耀說，他把非洲葛摩這個小島國上的HIV都根除了。當主持人問查秋阿：為何無人知曉他的事蹟？他說他把疫苗送往美國錫達斯－西奈醫學中心接受測試，但結果被掩蓋了。查理辛的主治醫生、美國加州大學洛杉磯分校教授惠仁嘉表示，查秋阿所言並非事實。查理辛自2011年7月確診後就展開HAART，同年12月體內已測不到HIV（測不到不代表治癒，病毒仍可能潛伏體內）。四年後，查理辛為了追求永久治癒，求



診於查秋阿；查秋阿把查理辛體內測不到病毒歸功於他的山羊奶，於是查理辛停止HAART，結果體內HIV量劇增。幸好查理辛恢復理智，再度服用HAART藥物。

至於錫達斯－西奈醫學中心的掩蓋疑雲，查秋阿後來控告該機構，說他們破解他的疫苗成份後就把疫苗銷毀。但根據法庭文件，查秋阿「並未提出充份證據說明其為商業機密，因此未能顯示該機密值得保護」；「也沒有提出可被接納的證據，支持他指控錫達斯－西奈醫學中心非法取得或洩漏任何所謂的商業機密」。而該機構告訴法庭，他們在1996年7月得知查秋阿「濫用與錫達斯－西奈醫學中心的合作關係來推銷其治療HIV的產品時」，就停止測試查秋阿提供的病毒，「並於1996年9月把所有剩餘樣本退還給查秋阿」。最後，根據加州大學舊金山分校醫學中心，葛摩島的80萬人口中約有7900名HIV/AIDS患者；查秋阿所說的根治，差之遠矣。

瑪爾脫口秀播出後，查理辛與主治醫生在另一個電視節目指責查秋阿「撒了漫天大謊」，查理辛說：「我不會再把關節炎山羊奶當做藥物。像查秋阿這種人根本是危險人物。」對許多可能致死、而且目前沒有治癒療法的疾病來說，真正的禍害是那些利用病患的恐懼來獲利的人。（潘震澤 譯）SA

Illustration by Izhar Cohen



米爾斯基（Steve Mirsky）
從杜爾（Bob Dole）在共和黨總統初選獲得愛荷華州黨團會議提名後，就開始撰寫「反重力思考」。他也主持*Scientific American* 的「科學訪問秀」。

動物智商知多少

動物聰不聰明，人類說了算？

撰文／米爾斯基（Steve Mirsky）

20年前我替另一家雜誌撰寫一篇關於靈長類動物學家兼作家德瓦爾（Frans de Waal）的人物側寫，因為一時想不到更好的標題，便先把標題暫定為「關於德瓦爾的文章」。教人哭笑不得的是，不曉得主編是故意還是不小心，那篇文章就這麼發表了。現在我有機會再次撰寫關於德瓦爾的文章，因為他即將發表新作《人類夠聰明到能夠判斷動物的智商嗎？》。這個答案是——不像你想的那麼簡單。

喬丹（Michael Jordan）在美國職棒小聯盟的0.202打擊率，顯然不適合用來評斷他的籃球技能。評估動物智商時也有同樣的問題。德瓦爾寫道：「在判斷動物有多聰明前，我們必須考量動物的各個面向與自然史。與其用人類擅長的技能來評估動物，為什麼不用牠們擅長的技能做測驗呢？」因此他寧可用「演化認知」而非「動物智商」來描述相關研究。譬如「要求松鼠從1數到10並不公平，畢竟算數並非松鼠必備的生存技能。」

書中還提到一項針對長臂猿的測驗。這種居住在樹上的類人猿比大猿的身材嬌小，但也十分聰明。在測驗中，長臂猿必須用一根細竹竿把香蕉勾到圍欄邊才能伸手拿到香蕉；黑猩猩與某些猴子很快就能得手，長臂猿卻屢試屢敗，因此被認為智商較低。直到其中一位研究人員貝克（Benjamin Beck）想到，長臂猿像鉤子一般的手很適合在樹枝間擺盪，但用來操作竹竿卻顯得十分笨拙。因此貝克重新設計一套適合長臂猿解剖學構造的工具，果然牠也能輕鬆拿到香蕉。

德瓦爾參考了烏鴉、豚類、鯨類等不同動物的研究，發現這些動物也相當聰明。身為艾茉利大學尤紀斯國家靈長類研究中心活水中心的主任，德瓦爾把大部份的研究時間都奉獻給人類的遠親：黑猩猩。今年4月德瓦爾造訪紐約時，告訴我一則發生在荷蘭阿納姆的伯格斯動物園中25隻黑猩猩的趣聞。他從1975年開始，花了六年時間研究這個族群。這些黑猩猩晚上待在圍籠內，白天則被放到鄰近的一座小島上。一天早上，德瓦爾與同事故意在黑猩猩面前提著裝滿葡萄柚的箱子前往小島。這是研究人員第一次這麼做，因此德瓦爾預期黑猩猩應該會很興奮，但牠們似乎對葡萄柚視而不見。

研究人員把葡萄柚藏在島上，想觀察黑猩猩如何尋找這些水果。德瓦爾說：「當我們提著空箱子回來，黑猩猩頓時興奮起來，蹦蹦跳跳、大聲叫喊、互相拍打對方的背。我從未看過動物對空箱子那麼興奮。牠們一定是理解到，既然我們去時箱子是滿的、回來箱子是空的，那些葡萄柚一定是留在島上了。待會兒牠們便能在島上開水果派對囉！」

但事情還沒完。當黑猩猩被放到島上後，有些黑猩猩經過幾顆半埋在沙中的葡萄柚時毫無反應，研究人員以為牠們沒看到那些水果。但有隻低階的雄猩猩，趁同伴們午睡時偷偷回到埋藏水果的地點。德瓦爾告訴我：「牠很清楚水果埋在哪裡，但在看到水果的當下決定默不作聲，否則更高階的猩猩便會把水果搶走。這種快速的策略性思考，正顯示黑猩猩了不起的認知能力。」

所以如果還有人不相信人類是從猿類遠祖演化來的，他們大概沒有資格判斷動物的智商吧。（周坤毅 譯）SA

Illustration by Matt Collins



追隨兩爬足跡——
踏上游崇瑋的生態旅程

撰文／湯琇婷

游崇瑋

◎ 1985年出生。
◎ 2013年，與德國鼠蛇大師舒爾茲（Klaus-Dieter Schulz）等17位專家合著《舊大陸的鼠蛇》，介紹了台灣的五種鼠蛇。
◎ 2013年帶領英國著名外景節目主持人馬文（Nigel Marven）團隊，在台灣錄製動物星球頻道的蛇類專題節目；2014年隨公視「下課花路米」節目團隊到馬達加斯加，錄製生態教育專題。
◎ 2014年，和擅長繪圖設計的林家蔚共同創立「綠自然旅遊×文創」公司，舉辦多國生態旅遊活動，並開發綠色文創商品。

「各位看！這是黃口攀蜥，雄性的體色較為鮮豔，像這隻除了口腔是黃色的，身體兩側還有螢光色的黃條紋……」游崇瑋一邊解說，一邊熟稔地抓起草叢間的黃口攀蜥，夜間導覽團的大小朋友立刻聚攏過來、自然地圍成圓圈。手電筒的燈光也從某個方向投射在圓中心的黃口攀蜥身上，此時其他人彷彿有股默契，不是把手上的燈光移開，便是直接關掉電源，避免黑暗中突如其來的光亮對小動物造成太大刺激。

週末傍晚的陽明山二子坪，剛下過午後雷陣雨，空氣中透著一股淡淡的濕土味道，天空泛起玫瑰色紅暈，教人心醉。穹頂之星一顆顆點亮，白日的遊客也一一返回山下的巢，這時卻有一行人摸著夜色上山，為的不是觀星，而是探訪喜好在夜間出沒的森林動物。這群夜遊客是親子生態導覽團的學員，導覽老師是兩棲爬行動物專家游崇瑋。

游崇瑋在台灣生態界素以「鷹眼」著稱，彷彿天生就和低調害羞的兩爬類有不解之緣，跟著他，再難發現的小動物好像都能快速現形。導覽過程中，每個人都化身為夜行動物，放大感官，四處嗅尋「獵物」氣味，不放過任何角落。一路上，從掠食蚯蚓的盲蛛、背上披著青苔色袍的斯文豪氏赤蛙、在眾目睽睽下裝死的黃口攀蜥到爬上樹梢飽食植物大餐的刺鼠，在游崇瑋的引導下盡收眼底。

從小練習不怕動物

台灣師範大學生命科學研究所畢業後，游崇瑋和當時一起研究蛇類的研究所學長林家蔚一同創立了「綠自然旅遊×文創」公司，帶團到日本沖繩、印尼科莫多島和

影像來源：王竹君

馬達加斯加等地進行生態旅遊。創業後一年，游崇瑋在朋友請託和引薦下，也辦起親子生態課程。導覽對象從大人轉換成兒童，起初游崇瑋不太適應，但幾次課程下來，小朋友對動物天馬行空的想像與好奇，讓他漸漸發覺小朋友的「可愛」，更找到舉辦親子生態課程的熱情與使命感。

游崇瑋回憶起小時候，在自家後面的山丘上，一條蛇的出現惹來周圍所有大人的驚慌憎惡，只見有人手持棍棒、有人拿殺蟲劑，齊力對付眼前的「可怕怪物」，那條蛇沒多久便魂歸西天。當時的場景深深烙印在游崇瑋腦海中，「很多人長大後對蛇心懷恐懼就是從小受到大人影響。」因此他認為對待動物以至自然萬物的正確態度，最好從可塑性還很大的學齡前階段就開始培養。

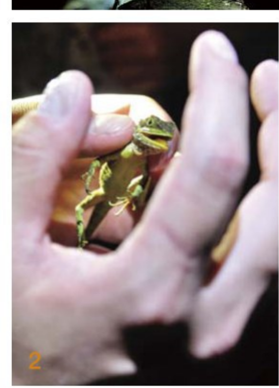
上室內課時，游崇瑋通常會拿出性情較為穩定溫和的寵物蛇或蜥蜴讓小朋友近距離接觸，透過碰觸與他的解說，小朋友對原本陌生的動物慢慢不再懼怕。而當實地帶團出野外時，對於某些較不具危險性且對人類警戒較低的動物，他也會鼓勵小朋友嘗試輕輕用手碰觸，並學習辨識不同物種，了解各種動物的特徵、習性與毒性，以免過度侵擾牠們的生活，甚至招來危險。

[夜訪山林]

噓！請小心靠近

在陽明山二子坪進行夜間導覽途中，游崇瑋隨手抓了一隻黃口攀蜥，引導學員近距離觀看並觸摸（1）。手中的黃口攀蜥微張著嘴，檸檬黃色的口腔在燈光下隱約可見（2）。他也展示了如何讓蜥蜴裝死，揭穿網路上謠傳的蜥蜴「催眠」術（3）。







影像來源：王竹君

戀上兩爬，「蛇」我其誰

幼年時的游崇瑋，時常跟著祖父到住家附近探險，青蛙、蚯蚓和蜥蜴是他的最佳玩伴，「我還記得我第一次認真觀察的動物是蝸牛，那時牠沿著幼稚園旁的小水溝爬行⋯⋯」這或許是許多人成長過程的共同經驗，但長大後伴隨而來對自我期許的改變，也讓許多人逐漸遺忘最初那份受生命所感的悸動。

升上高中後，游崇瑋加入生物研究社，對野生動物有了更進一步的認識；在社團老師和學長帶領下，先透過動物圖鑑和學術期刊逐步建立專業知識，再實地出野外「演練」所學。游崇瑋回憶：「我們那時背圖鑑的方式是，學長會遮住動物的某些部位來考驗我們的辨識能力，因為在野外，常會遇到因車禍等意外而身體支離破碎的動物。」那時的他，時常趁假日坐公車到陽明山甚至北橫尋寶，一次次與野生動物的邂逅，在他心中慢慢堆疊成一種信念——「這才是我真正想要的！」

問為什麼對兩爬類情有獨鍾？「哈，就是一種被電到的感覺！」當時的生物研究社分成昆蟲組、兩爬組、鳥類組和哺乳類組，一般在野外，哺乳類多是一閃即逝，而鳥類除了巢中雛鳥，多半無法近距離接觸。喜歡「碰得到的動物」的游崇瑋，在昆蟲與兩爬類之間沒有多做徘徊，便憑著一股直覺，一頭栽入兩爬類佈下的情網。不可諱言，碰觸各種動物或多或少都會造成干擾，但相較於鳥類或哺乳類，抓取兩爬類引起的驚嚇，牠們基本上很快就忘記，這也讓游崇瑋安心忠於自己所好，深入研究兩爬類。

進入中山醫學大學就讀生命科學系後，他更是一有



大家在看什麼？

游崇瑋在馬達加斯加南部進行生態勘點時巧遇輻射龜。輻射龜在當地常見，相比之下，外國人的出現及隨身的攝影器材反而更引人注目。

影像來源：游崇瑋

機會就騎上機車翻山越嶺，跑遍北橫、中橫甚至東部山區探尋兩爬類的身影並拍照記錄，長期下來累積了大量的野生動物「美照」，鈍頭蛇也位居此列。20世紀初，美國和日本兩爬學者先後發表了台灣鈍頭蛇（*Pareas formosensis*）和駒井氏鈍頭蛇（*Pareas komaii*），然而1997年，經日本兩爬大師太田英利大筆一揮，把以上兩種鈍頭蛇視為同種，台灣本土的鈍頭蛇便只剩下台灣鈍頭蛇一種。

游崇瑋反覆仔細檢視他拍下的鈍頭蛇照片，幾經對照下，發現台灣的鈍頭蛇可能不只一種，這個疑問最後也催生了他的碩士論文。2015年，游崇瑋和他在台師大生命科學系研究所的指導教授林思民組成的團隊，重新扶正駒井氏鈍頭蛇的分類地位，同時並發表新種泰雅鈍頭蛇（*Pareas atayal*），在那之前台灣島上已有84年未有蛇類新記錄種。

這項證實台灣有三種鈍頭蛇存在的研究結果，無疑是台灣生態界的大事件，也因新記錄種的發現睽違近一世紀之久，一時蔚為佳話，在媒體圈廣為流傳。熱愛山林、對生命更有敏銳觀察的游崇瑋，可說是台灣新一代動物分類學者中的「珍稀物種」。隨著進入實驗室鑽研分子生物學的研究者日益增加，上山下海、近距離接觸野生動物的「好野人」卻越來越少，一如林思民所感嘆，經由野外踏查發現新物種的技能，在年輕一輩的分類學者中正逐漸失傳。而游崇瑋選擇的傳承方式，並非從此踏上典型的學術研究之路，反而是在荒煙漫草中開闢一條滿佈冒險與未知的崎嶇小徑。

研究所時期為了透徹研究鈍頭蛇的分類，游崇瑋不只從南到北跑遍台灣全島，足跡甚至延伸到日本沖繩，也是在那個時候，他驚訝發現沖繩島上的自然環境受到妥善維護，生態遠比他想像的還要好。沖繩島上的踏查經驗，在游崇瑋心中埋下種子。原本他計畫在拿到碩士學位後赴澳洲攻讀博士，幾經思量台灣的學術研究環境以及少子化對高等教育的衝擊等問題後，不禁使他卻步。游崇瑋心想：「或許有其他方式，可以把我發現動物的喜悅直接分享出去，讓大眾透過親近自然、了解自然，進而愛護自然生態。」

沖繩上岸，一腳踩進生態旅遊

在沖繩的所見所感，讓他興起了經營生態旅遊的念頭：生態旅遊對於台灣人是一個陌生的名詞，而沖繩這個地方較為台灣人熟悉，度假海島的形象更引人許多浪漫懷想，而且距離近、治安好，最重要的是生物多樣性相當高，全日本有2/3的兩爬類物種都可在沖繩看見，因此如果要發展生態旅遊，沖繩可能是一個理想據點。

那麼，何種型態的生態旅遊才能吸引對的人參與呢？喜愛親近自然生態者大有人在，其中還有一群人著迷於野生動物，渴望深入世界各個角落發掘並認識不同物種，有的則化身為「相機獵人」，記錄下動物千變萬化的面貌。對於這樣的業餘生態愛好者，一趟充斥野外探險、發現動物的新奇以及豐富新知的旅程，能帶給心靈無上滿足。但每個人對野生動物都多少有主觀偏好，身為兩爬專家的游崇瑋深知這點，因此決定放寬視野，盡可能什麼都看、什麼都介紹。

他甚至發展出自己的一套導覽策略。首先，在決定

旅遊地點之前，他會先調查當地最為台灣人所熟知的明星物種，例如馬達加斯加的狐猴、科莫多島的科莫多龍、沖繩的琉球歌鴝，做為旅遊亮點，營造期待感。游崇瑋說：「帶團去沖繩時，我就設計了觀察口訣──沖繩有三寶，水雞、歌鴝、啄木鳥！」琉球歌鴝在冬季時偶爾會有零星幾隻飛到台灣東北角或龜山島短暫過境，是賞鳥人士心目中可遇不可求的外來稀客，但琉球歌鴝除了棲息於沖繩島，在琉球群島中不少座也都有分佈，且數量不少；相反地，山原水雞才是沖繩特有的鳥類，島上也並非隨處可見，因此這個口訣把「水雞」放在「歌鴝」之前，在引人好奇的同時，無形中也讓人了解山原水雞的生態地位。

「另一個重點是，先拓展廣度，再求深度。」帶領生態旅遊團出發尋找明星物種時，沿途必定會和其他野生動物「不期而遇」，這時游崇瑋當然不讓團員錯過這難得出遠門獵奇的機會，便順勢介紹各種動物「配角」，並針對特定物種做更深入、詳盡的解說。他也不像一般旅行團，在啟程前列出必看景點、並宣稱「保證不讓大家失望」，游崇瑋認為，野生動物迷人之處在於牠們的行蹤飄忽、出沒不定，正因為這般難以掌握的未知，才有發現動物時的莫大驚喜。這種觀念不容易讓人接受，卻是游崇瑋經營生態旅遊的初衷，他希望透過生態旅遊，建立大眾對自然萬物的正確態度；唯有付出努力和細心觀察，才能獲取一絲親近野生動物的機會，畢竟「太輕易到手的東西往往都不懂珍惜」。

負責任的生態人

與沖繩相比，馬達加斯加更是一個聞名全球的夢幻生態熱點，島上動植物特有種的比率高達90%。然而，它同時也是全世界數一數二貧窮的國家，每人每天平均收入不到一美元，礦業和觀光業為該國經濟主體。對於佔馬達加斯加人口多數的貧窮人民而言，只要能維持個人與家庭生活溫飽，任何型態的經濟活動都不排斥。這也因此形塑了馬達加斯加地景上一個「有趣」的現象，游崇瑋說：「當你上網觀看這個國家的衛星地圖，會發現除了國家公園和私人保護區等區域是綠色的，其他區域多半是一片黃土。」在這座島上，自然資源不是被視做觀光資財妥善保存，就是盡可能利用殆盡。

與跨國採礦大公司合作的礦業，因執政者貪污腐敗，不公平剝削的情形相當普遍，甚至只有1%的利潤回歸勞工。相較之下，觀光業的收入對一般民眾則較直接，游崇瑋舉例，在當地進行生態勘點時，「只要情況允許，我都會盡量提供小費給協助我的當地民眾，同時減少吃住方面的花費。」對游崇瑋來說，利潤回歸當地是負責任的生態旅遊很重要的一環，如此才可能讓當地居民支持自然資源的永續利用。看多了豪奢的生態旅遊團，他深知，住當地民宿、融入當地飲食，同時減少能源消耗與垃圾的製造，更是一種友善環境和社會的消費方式。

回望台灣這座小島，生物多樣性也是毫無遜色。今年5月底，一團香港遊客造訪台灣，游崇瑋身兼嚮導與司機，帶他們從南到北踏查野外、四處看蛇，行程長達九天；台灣陸生蛇類將近有五十種，有時一個晚上就能發現二、三十條，對於愛蛇人來說，台灣可是邂逅蛇類的超級熱點！

然而，在台灣像這樣耗時長的深度生態旅遊，他卻不隨意開放台灣人組團參加，除非是他信任的對象。游崇瑋說：「我帶外國人來台灣，也帶台灣人到國外，當旅程結束後大家都各自返回彼此的國家，這樣的地理隔離讓我比較安心。」他的話語中透著一絲隱憂，或許是耳聞了不少負面例子，游崇瑋不希望有「自己人」在參加他的生態旅遊行程後，重返舊地捕捉野生動物。對他而言，這份謹慎是身為一個「生態人」應盡的本份。

自高中追隨兩爬類足跡伊始，游崇瑋的生態旅程未曾停歇，從做研究、生態旅遊到親子導覽，沿途總少不了發現動物的驚奇與喜悅。正如游崇瑋所說，當初一腳踏入生態旅遊，並不是為做而做，只是選擇了一條分享和推廣生態的途徑，這條路或許走來顛簸，卻讓他樂在其中。SA

延伸閱讀

「綠自然×生態旅遊」網站：**https://zh-tw.facebook.com/greenatureTW/**

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版



〈生態旅遊考驗緬甸淨土〉，《科學人》2016年7月號。

〈遊客大軍進擊加拉巴哥〉，《科學人》2016年6月號。

〈不對襯的相遇──泰雅鈍頭蛇〉，《科學人》2015年6月號。



愛蕨人慧眼揭身世——碧鳳鐵角蕨

撰文／郭立園

台灣，一座緊鄰亞洲大陸、橫跨北回歸線的太平洋島嶼，在這座3萬6000平方公里的小島上具有垂直落差近4000公尺的地貌，這些特殊的地理條件創造出一個水氣充沛且氣候多樣的生態環境，孕育了極豐富的生物資源。特別是蕨類，在台灣至今已記錄超過750種，含括全世界2/3以上蕨類的科別。

即使過去100年間已經有日據時代與之後多次大規模的台灣植物資源調查，台灣的蕨類多樣性仍持續被發掘、不斷增加新種記錄，光是近五年就有超過15個蕨類物種在台灣首度被報導。近期最令人鼓舞的消息莫過於蕨類分類學家確認了一個從未描述過的鐵角蕨屬新種——碧鳳鐵角蕨（*Asplenium pifongiae*），種名「pifongiae」是以提供這個新種第一份採集標本的呂碧鳳的名字來命名，為的是向業餘植物愛好者與分類學家對台灣蕨類多樣性的貢獻致意。

碧鳳鐵角蕨是一種體型較小的蕨類，葉身長不到30公分，在草叢中並不起眼，乍看還與台灣常見的生芽鐵角蕨（*Asplenium normale*）十分相似。碧鳳鐵角蕨是在中南部山區的一條林緣步道發現的，但讓人訝異的是，那是植物分類者考察時常經過的一條步道，筆者估計，參與這次新種發表的台灣蕨類學者總計錯過應不下20次，遑論自日據時代以來學者已在這一帶進行透澈的調查，與這個新種擦身而過的次數之多可想而知。然而據野外經驗豐富的呂碧鳳所述，她並不是第一個發現這種蕨類的人，而是依循另一位植物愛好者陳一萍提供的資訊才找到。這些無數「錯過」的故事，為此鐵角蕨植物添增幾分神秘。直至2015年呂碧鳳提供這份標本，台灣蕨類學者才得以近距離一窺這種神秘的鐵角蕨，聚在一起為探究其真實身分集思廣益。

透過近距離觀察標本，包括筆者在內的台灣蕨類學者注意到這種鐵角蕨與生芽鐵角蕨有許多細微差異，且更類似另一種分佈在非洲與南美洲的鐵角蕨屬物種——單孢鐵角蕨（*Asplenium monanthes*），有人立即提出看法：或許這不是生芽鐵角蕨，而是一個台灣新記錄種；不過同時又出現另一個疑惑：這個只在非洲與中南美洲有記錄的物種怎麼會在台灣出現呢？若假設它是近年經

碧鳳鐵角蕨小檔案

- 碧鳳鐵角蕨（*Asplenium pifongiae*）為鐵角蕨科鐵角蕨屬的地生小型草本植物。
- 葉長18~30公分，一回羽狀複葉，呈淡藍虹光。
- 長條狀的孢子囊群只著生在羽片側脈一側，且與羽片基部邊緣平行。

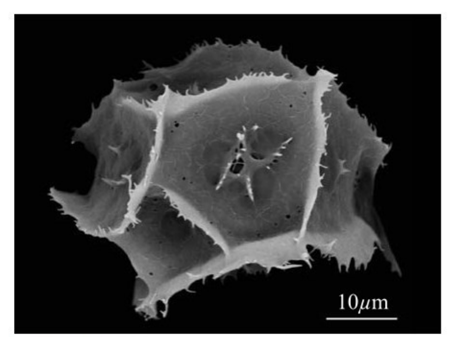
影像來源：呂碧鳳



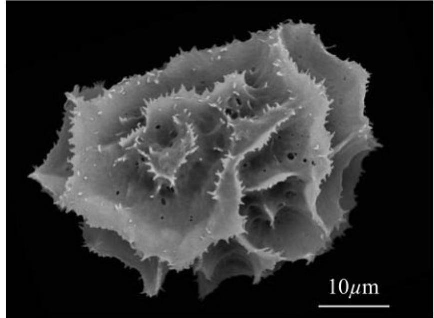
碧鳳鐵角蕨的羽片帶有淡藍虹光，羽片下緣處僅有1~2條孢子囊群，且平行於羽片基部邊緣。



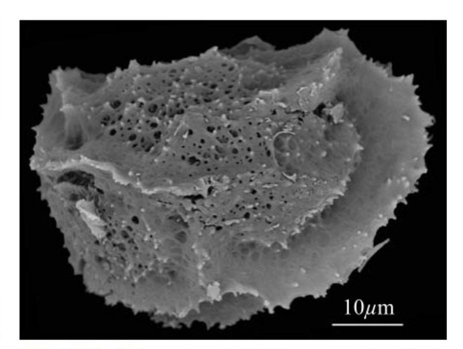
生芽鐵角蕨的羽片下緣處常可見三條以上的孢子囊群，且斜交於羽片基部邊緣。



碧鳳鐵角蕨孢子表面具翅狀凸起，沒有（或具有少許）孔洞。



生芽鐵角蕨孢子表面具翅狀凸起，具有一些孔洞。



單孢鐵角蕨孢子表面具翅狀凸起，具有許多孔洞。

人為因素散播到台灣的外來物種，或許足以解釋過去一個世紀何以都沒有採集記錄。就在大家議論紛紛後，決定蒐集進一步的證據來釐清真相。因此在同年7月，筆者偕同呂碧鳳與林業試驗所助理研究員張藝翰，重回此鐵角蕨生育地進行野外觀察與族群數量的調查，並採集新鮮樣本帶回實驗室深入研究。

然而就在我們得到分子親緣關係的初步結果後，故事出現了轉折，立即否決之前所有人的推測——我們證實這種鐵角蕨既非生芽鐵角蕨也非單孢鐵角蕨，而且非常有可能是一個未曾描述的新種。這項出乎意料的發現讓大家興奮莫名，同時也用更審慎的態度面對這神秘的鐵角蕨植物，並開啟全新的討論。全世界的鐵角蕨屬物種超過600個，如何確定眼前的鐵角蕨並非其中之一？接下來，我們仔細比對台灣鄰近地區所有同屬相似物種，除分子序列之外，也分析孢子表面紋飾特徵

關於作者

郭立園是台灣大學生態學與演化生物學博士。本文感謝碧鳳鐵角蕨新種發表文章的第一作者李飛葦與共同作者群：張藝翰、許天銓、洪信介、邱文良、黃曜謀、羅斯菲爾斯（Carl J. Rothfels），以及所有蕨類研究社參與討論的成員。

與細胞學。綜合這些證據，最終我們確認這種鐵角蕨確實具備一個新種的地位。同年8月，我們把這個新種碧鳳鐵角蕨的發現與相關證據投稿到《植物系統分類學》（*Systematic Botany*），隔月就由稿件審查委員接受。

經過這一番探索，我們仍然沒有在其他地區發現任何疑似碧鳳鐵角蕨的採集標本，也說明目前這個鐵角蕨物種是分佈狹隘的台灣特有種。實地調查發現，碧鳳鐵角蕨的生育地族群更是意外小，僅發現不到10棵成熟植株，屬於瀕危物種。雖然碧鳳鐵角蕨的植株形態不引人注目，但族群個體數量鮮少又非常靠近人類活動的步道，其生存狀況令我們十分擔憂。因此我們採取了後續的境外保育與復育措施，把小苗種源保存在辜嚴倬雲保種中心，並送到林業試驗所準備利用孢子培養進行大量繁殖復育。

碧鳳鐵角蕨的身分能由暗轉明，要歸功於台灣植物業餘愛好者與分類學家對本土生物多樣性毫無停歇地關注與澆灑熱情，但更重要的是，這則發現新記錄種的故事也提醒人類保育自然棲地的迫切性，尤其如今可能由人類引發的第六次生物大滅絕來襲，我們不知何時又會錯過下一個來不及描述的稀有物種。SA

影像來源：呂碧鳳、郭立園

探尋身心疾病之鑰

精神科醫師是救助人們身與心的神聖職業，醫師科學家則是真相追尋者，前者是我的職志，後者是我的夢想。大二這一年，我展開結合兩者的初體驗。

撰文／孫慶芳

星期二晚間10點，Skype的藍色接聽通知鍵亮起。我一邊手忙腳亂按下通話鍵，一邊用手機開啟簡報檔。

「大家晚安，我是小魚。」學姊溫柔的嗓音不疾不徐。然而我的心跳加快、手心微微冒汗。終於輪到我報告，結結巴巴說完幾頁關於聚合酶連鎖反應（polymerase chain reaction, PCR）的成果簡報。

「小魚，妳覺得呢？」教授一派輕鬆詢問學姊。「唔……我覺得接下來應該要調整一些實驗條件……」幾番討論後，「好，下一位。」教授終於如是說。聽到這句代表宣告任務完成的話語，我頓時長吁了一口氣、癱坐在電腦前，緊繃的神經紓緩了下來，在心中不禁為自己大聲喝采。

這不是什麼碩博士班畢業論文辯答，也不是什麼國際學術競賽。這是我第一次參加實驗室會議的情形。



每當我和沒待過實驗室的朋友談起醫學研究的種種，都會在他們眼中瞥見一抹夢幻的景致：年輕的科學家穿著帥氣實驗白袍，把數十種藥劑倒入試管，於是重大的科學發現便在冉冉煙霧中誕生！

不，真相從不是如此。所有決定用青春熱血開啟研究之路的學生都有首次進實驗室的時候，大半時間都在練習拿微量吸管以準確抽取所需的實驗檢體體積、戰戰兢兢不敢做出任何可能污染檢體的行為、學習如何安全拿取藥劑而不被反鎖在-4℃的巨型冰櫃裡。我常自嘲，初學者的身分大概就是「路障」或「不經意的麻煩製造者」，後頭總有前輩不厭其煩嘮叨、叮嚀著以及收拾善後。

熟悉所有操作後，才能真正參與實驗。我的指導老師藍先元教授是位忙碌的臨床醫師，身兼臨床醫學研究所所長與精神科主任，在實驗室的角色猶如領航的艦長，決定



影像來源：孫慶芳

關於我的Lab

實驗室全名：生物精神醫學研究室

老闆：中國醫藥大學臨床醫學研究所特聘教授兼所長、腦疾病研究中心主任藍先元（前右）

成員：實驗組研究助理兩名、臨床組研究助理兩名、兼任研究助理一名、博士後研究員一名、醫學系學生兩名（本文作者在前左）

實驗室研究主軸：探討精神疾病藥物的個體差異，建立藥效的早期預測模式，提升精神疾病藥物治療的效益與安全性。與NMDA受體神經傳導調控相關的轉譯和臨床藥理學研究，研究領域包括思覺失調症、失智症和憂鬱症等。

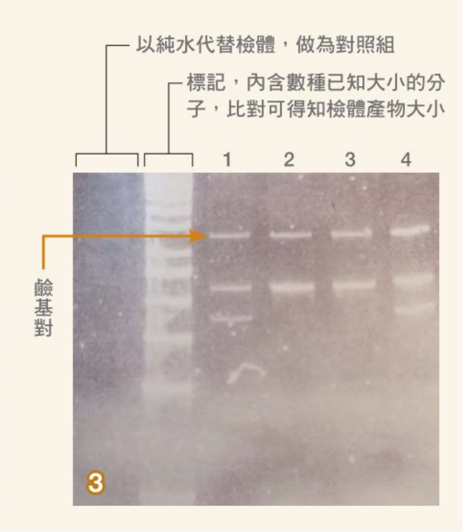
我的實驗概念

尋找易感基因

血液樣本在實驗室經過純化處理得到DNA後 (1)，我們會設計引子（primer）並運用聚合酶連鎖反應（PCR）把目標基因放大，再運用限制性片段長度多態性（RFLP）技術，把不同型別的基因放大成不同大小的DNA片段。接著把充滿DNA的液體注入一片十二烷基硫酸鈉聚丙烯醯胺凝膠（SDS-PAGE）電泳槽內進行電泳 (2)。最後，染上溴化乙菲（EtBr）並在紫外光下顯影，就可透過DNA片段大小得知檢體的基因型，例如在 (3) 的影像，我們可以看到1號、4號檢體基因型相同（三條亮帶），2號、3號檢體基因型相同（兩條亮帶）。







有潛力的研究主題並督導計畫順利進行。對於我的研究訓練，老師首重獨立思考的能力，同時能夠獨立研究也懂得團隊合作。所以首先我必須努力搜尋文獻、思考合適的主題，並與老師、學長姊持續討論方向與細節。至於種種笨拙的實驗技術，主要由第一線具備分子生物專長的學姊帶領我學習精進。每星期二晚上，整個研究團隊（包括外地的合作成員）會在線上齊聚一堂，輪流報告各自的研究進度。

關於藍教授，我印象最深刻的是他忙碌的行程。除了研究，還有各種大小會議、學術研討會，教學和臨床工作更是繁忙，然而他總是相當從容把所有事情處理妥當。我一方面對指導教授深感佩服，另一方面暗自憂心這是否是所有醫師科學家共同的宿命？我曾向他提出我的疑慮，他只露出一貫優雅的微笑說：「凡事都需要慢慢練習……」

一窺精神醫學殿堂，初觸科學研究

從事科學研究一直是我的夢想，是兒時眾多天馬行空的幻想之一。國中時意外接觸到團體心理輔導，開始注意到心理學知識。上高中後仍然懵懂，對於科學，不外乎是拿基因槍四處掃射的門外漢想像。直到高二開始準備申請大學，才認真思索自己的未來。

許多人認為，還沒進入臨床就對精神科顯示個人興趣的學生，心裡可能曾有某種程度的創傷經驗或陰影，需要「分析」。但我認為這是刻板印象，我的想法與詮釋是有些人把個人成長過程中深刻的經驗，轉化成想要對身心進行探索的動機。根據《英國精神醫學期刊》的一項研究，未來想成為精神科醫師的醫學系學生，多數動機來自想在診療過程中「把病人視為一個整體看待」，而這也是我對精神科有所期待的理由。

我期待成為醫師，幫助人們遠離病苦。

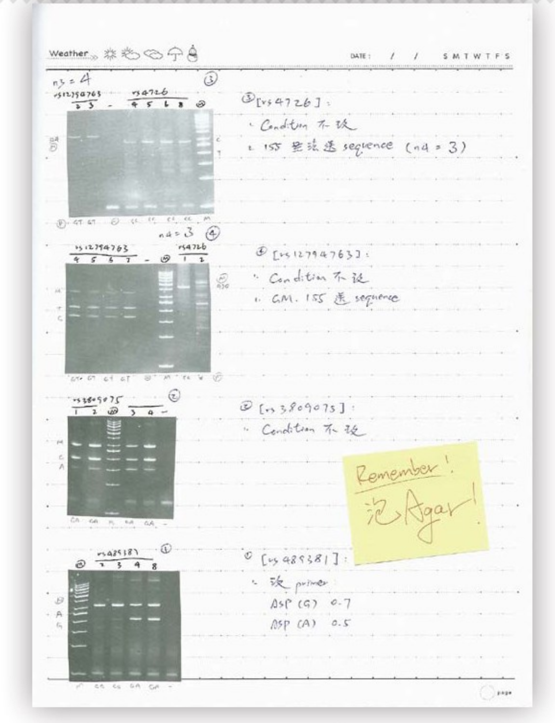
關於作者

孫慶芳目前就讀中國醫藥大學醫學系四年級，於生物精神醫學研究室進行專題研究，也參與科技部大專生研究計畫題為「測定精神分裂症易感基因SLC3A2基因型方法之建立與討論」，曾於美國加州大學聖地牙哥分校醫學院微生物免疫研究中心生物醫學實驗室實習。平時喜歡長跑、閱讀，嘗試各種新奇事物。

影像來源：孫慶芳

科學的意義＜

人們相信心智是由靈魂組成，而從未懷疑靈魂的成份，正如人性古今不變：一旦相信最方便理解的說法，便不思索其他微小的可能。期許自己實踐柏拉圖《洞窟寓言》中所傳達：發現真相，並引導全人類走出看不清真理的洞穴，重新認識這個真實的世界。



每次進行電泳後得到的膠片影像，我除了會黏貼在實驗室記錄表上，還會備份在筆記本，確保珍貴的實驗結果不會遺失，此外也方便對照。我也會在膠片旁附註，下次實驗是否參考此次結果更改條件，以及貼些小字條提醒自己未完成的事。

精神科醫師在我心目中是一個神聖的職業，因為他們能夠同時救助人們的身與心。加入精神醫學實驗室，除了讓我在進入臨床前能先一窺精神醫學的殿堂，也能讓我初觸從事研究的科學夢。

只不過，剛開始的投入完全是一股熱忱，什麼都還沒準備好就要進實驗室，什麼都還不會就要開始操作，什麼都還懵懂就要向別人介紹自己的實驗。一路上跌跌撞撞，不時出現各種搞不清楚狀況的糗態，於是終於了解為何老師總是強調「從做中學」。

從事科學研究不像應付考試，光是坐在書桌前努力讀書就行。如果凡事都要「準備好」才開始，可能永遠沒有行動的一天。

在研究之海搜尋新大陸

多數人對精神科研究的印象不外乎一張躺椅和各種神秘的心理剖析。事實上，以醫師的角度來看，精神疾病的發生幾乎都可以用生物醫學的方式詮釋，簡而言之，就是可以發現患者腦內化學物質不平衡的情形。精神疾病如同其他疾病，只要找出病因就有希望改善，只是精神疾病的致病機制十分複雜，以現今醫學的發展無法全面理解。因此精神科的研究猶如探索未知的茫茫大海，有待世世代代的醫師科學家來發現新大陸：有人專攻代謝腦內化學物質的酵素，有人探討病人的腦內結構，當然也有人認為後天環境對心理的影響才是造成精神疾病的主因。

我們實驗室主要研究思覺失調症（舊稱精神分裂症）、失智症、憂鬱症等，致力尋找精神疾病的血液周邊標記、發展標準化診斷系統、建立早期偵測與早期治療系統，進一步研發新藥以治療或預防精神疾病。

其中我參與的研究主要針對思覺失調症。現今對於該病症的病因尚有很多渾沌之處，目前能實際應用在治療上的方法有限且成效不彰。許多研究都指出思覺失調症與遺傳有關，因此我們鎖定數個可能與思覺失調症相關的易感基因（susceptibility gene），測定其基因變異。

接觸真理的雙手，化精準為日常

關於實驗操作，我覺得有點像下廚。別人開火煮飯，我們開PCR跑DNA；在廚房看的是食譜，在實驗室看的就是一份又一份SOP。從什麼試劑該什麼時候加？加多少？到如何打電話給生技公司訂購酵素，都有step-by-step的詳盡指引。「精準」是實驗工作的最高指導原則。規定30秒完成的動作就不能一分鐘才做完；微量吸管必須反覆抽吸直到確定所有液體都進入離心管；使用電泳槽時，按下開關後必須緊盯機器，直到泡泡從槽底冒出，才能確定電極沒有接反，最後確定機器沒故障才能離開。

當然並非每個實驗步驟都緊湊地以秒計算。有些實驗要等機器跑數小時才有結果，這時就是我們愉快的休閒時光，可以放心出

影像來源：孫慶芳

去吃飯、午睡或抓緊時間念書，直到計時器的急促聲響，提醒某人該從電腦桌前離開、奔向工作台執行下一個不得逾時的動作。

可靠的研究數據來自精準的實驗操作和詳實的記錄。具潛力的研究還需要一雙雙研究人員的巧手完成。記得我第一次把測定的基因型輸入電腦時，忽然有個想法一閃而過：如果基層研究人員在此時擅自刪改數據，導致跑統計時有不正確的推論，恐怕除了他自己之外都不會有人知道……不料我還沒開口問，學姊就先說話了：「確定所有數據都正確輸入相當重要。身為第一線的實驗操作人員，我很驕傲對於科學真相的堅持，因為這是從事研究工作必要的操守。」

說到堅持，我們實驗室成員有遵守不成文規則的默契，例如未經對方同意不會去使用對方桌上的器材，一方面是防止污染，另一方面也如同擁護自己的小小城池。

有件事令我印象深刻。某天早上進實驗室就感覺瀰漫肅殺之氣，實驗室總管學姊好似才大發雷霆，板著一張臉指揮工讀生把幾籃器材搬去滅菌，助理學姊躡手躡腳繞過工作台填裝乾淨的微量吸管頭。我轉向博士學姊，只得到一抹無奈的苦笑。原來一個星期以來，所有人使用PCR並照膠顯影後，都觀察到一段詭異的不明光譜。經過總管學姊反覆實驗並查證後，發現原來是一段來路不明、大小約150單位的DNA污染檢體，所以整間實驗室的相關器材都必須大費周章拿去消毒。工作台一下子空蕩了起來，所有微量吸管都外送回生技公司滅菌去了。

對於維護無污染環境，在我們實驗室是至高無上的戒律。可以嘻嘻哈哈在茶水間把甜點亂擺，但工作台上可一點都不得馬虎！

順道一提，直到我參與研究前，都不知道實驗室是開銷如此龐大的地方。小小一管不到兩毫升的試劑，可能動輒數千元，跑一片電泳用的洋菜膠片費用要500元。生技公司精美的酵素型錄不比百貨公司服裝廣告遜色；生技公司的特派專員總是光鮮亮麗，令我聯想到舌燦蓮花的推銷員。



實驗室中亂中有序的小小工作台。未經同意，不觸碰桌上器材是實驗室成員之間的默契。

挫折後的甜美

幾年短淺的研究經驗，已讓我體認到事情總不如預期順利，研究之所以能進行並完成也絕非個人功勞。過程的孤獨、挫折與絕望必須獨自面對，對於能否得到預期實驗結果常感焦慮而惶惶終日，尤其身為大學生，同時還要面對課業及人際的壓力。

看同學都在玩社團、談戀愛，在各種活動中表現出色、風光亮麗。身為成天躲實驗室的怪咖，看著一樁樁失敗的實驗結果，難免有時沮喪焦慮。期末考迫在眉睫，又遇上研究瓶頸時，龐大的壓力更是如千鈞壓頂。然而有新的突破時，心情往往雀躍不已，那種歷盡各種挫折後得到的成果更是甜美。

我確信自己喜歡從事研究。醫師會是我未來的職業，而科學對我無疑是一種自我實現的志業。儘管未來不知是否還有機會從事研究，至少我知道，從事研究工作時的我是快樂的，而在大學生涯裡這段實驗室時光彌足珍貴，是我人生中一段不悔的記憶。SA

影像來源：孫慶芳

柏拉圖的天空

美國普林斯頓高等研究院吸引了多位當代科學巨星，其魅力何在？

美國紐澤西州的普林斯頓一向是座靜謐的小鎮，眾人對它的印象多半來自美國獨立前的普林斯頓之役。此役華盛頓（George Washington）及其率領的民兵把英軍打得落花流水、潰不成軍。再則就是鎮內夙負盛名的那所大學。

1685年，貴格會教徒在此定居。沃野平疇，清澈淺溪，蓊鬱森林，吸引了大批的移民，也因此普林斯頓位居首府的地位達六個月之久，1783年第二屆美國大陸會議（Second Continental Congress）就在此地召開。1756年，紐澤西學院在此奠基，由一群長老教徒捐資籌建，此時適逢正統喀爾文教派狂熱大覺醒運動（Great Awakening）的顛峰期。經過一段時間的募款，學院內聳立起第一棟建築。這座納韶堂（Nassau Hall）曾經有好一段時間是殖民地最宏偉的建築，而且禮聘向來振聾發聵而聞名的愛德華斯（Jonathan Edwards）擔任牧師，同時兼任校長職務。

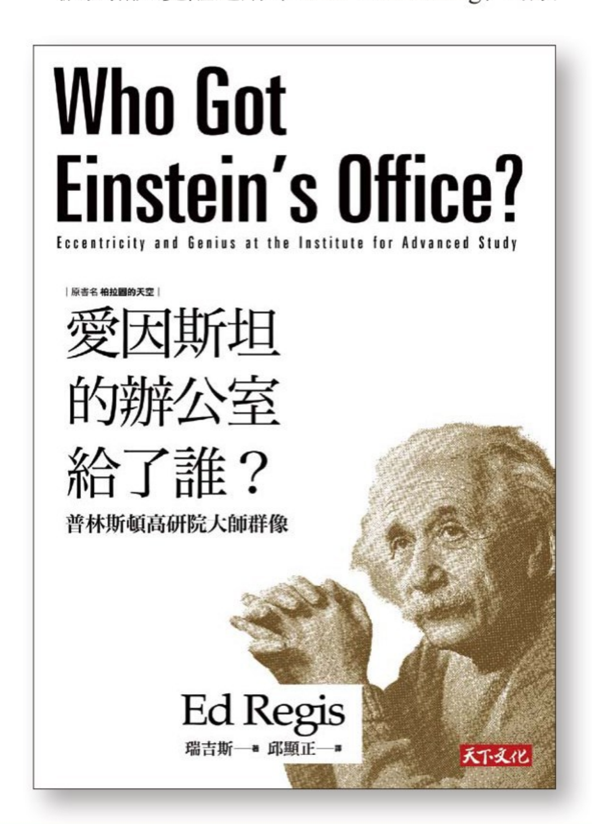
小檔案

書名：愛因斯坦的辦公室給了誰？（*Who got Einstein's Office?*）
原書名：柏拉圖的天空

作者：瑞吉斯（Ed Regis）

譯者：邱顯正

出版商：天下文化（2016年6月）



知識的伊甸園

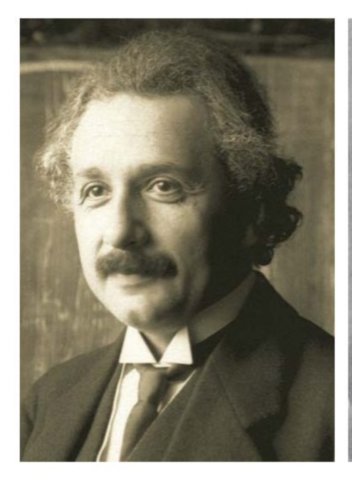
愛德華斯是康乃狄格州的神學家，承襲柏克萊主教（Bishop Berkeley）的方式，以備受推崇、千錘百鍊的柏拉圖式宗教精神，教授哲學理想論的微言大義。他認為外在的世界純屬虛構，而主張：「這個世界，亦即物質宇宙，僅存乎心。」期望200年以後普林斯頓的科學家，能以其專業方式，把「物質宇宙」濃縮成純粹的抽象精神網絡。

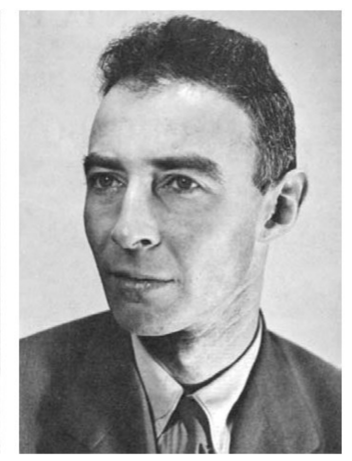
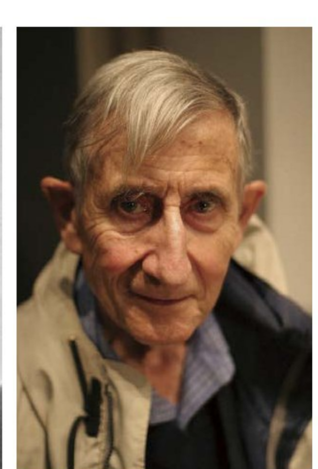
愛德華斯也開課傳授令人迷惑的喀爾文教義。這種教派主張：雖然上帝在你未出母腹之前，即已決定你將來要上天堂或下地獄，不過你還是可以想辦法（他對此語焉不詳）選擇你最終的目的地。顯然地，上帝決定愛德華斯不應擔任紐澤西學院校長太久，因為在他宣誓就職後不久，即得天花而病故。到了1896年，該學院終於正式易名為普林斯頓大學；不過一直到1902年威爾森（Woodrow Wilson）繼任校長，才算結束神職人員主掌該校的局面。

1933年10月，幾乎是一夜之間，普林斯頓大學由一所紳士學院，搖身變為物理學界的重地——愛因斯坦（右頁圖左一）堂堂進駐普林斯頓高等研究院。

普林斯頓高等研究院是個嶄新的嘗試，

影像來源：天下文化



FERDINAND SCHMUTZER(ALBERT EINSTEIN), JACEK HALICKI(KURT GÖDEL), UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY(J. ROBERT OPPENHEIMER), JACOB APPELBAUM(FREEMAN DYSON)

沒有學生、沒有老師、沒有課程。世界頂尖科學家濟濟一堂，攜手研究，但是沒有實驗室、沒有機器、沒有儀表設備，差不多全憑想像和推論。自設立伊始，高等研究院就是個純理論的搖籃。愛德華斯地下有知也會欣然同意，因為他得天花的原因無他，不是遭人傳染，而是他自告奮勇試驗天花疫苗。當時那種疫苗尚在試驗階段，愛德華斯為了表示對現代科學的信心，身先士卒，結果一命嗚呼。

今日的普林斯頓高等研究院少了愛因斯坦及哥德爾（Kurt Gödel，上圖左二）後，號召力已非昔比，但仍不改初衷，繼續致力理論的鑽研。高等研究院就坐落在普林斯頓小鎮一隅，但是甚至連在普林斯頓住了一輩子的居民，都常常不知道高等研究院在哪裡，遑論親自帶你走一遭了。

問住在普林斯頓大學旁幾條街外的居民，高等研究院怎麼走？他們很可能聳聳肩告訴你，從來都沒聽說過普林斯頓有高等研究院。「什麼研究院來著？」他們能夠指點你普林斯頓神學院的方向，或者史布林岱爾高爾夫俱樂部，高等研究院？不知道！過去40年來，堅守研究崗位的湯普森（Homer Thompson）就說：「這個研究院在歐洲的名氣還比在普林斯頓大咧！」

林中別有天地

其實居民不清楚也情有可原，因為普林斯頓高等研究院貌不驚人，很難從外觀一眼看出：坐落在普林斯頓南緣的老街（Olden Lane）上，約2.5平方公里的開闊地點，森林環抱，看起來很可能是校園一角或是一所預校，可是又沒有學生在附近走動，怎麼看都不像研究院。接著你或許會猜測，該不會是療養院？孤兒院？或榮民之家？

主建築福爾德大樓（Fuld Hall）是一棟紅磚、喬治亞式結構的建築，和其他大學內所見的大同小異。福爾德大樓裡有教職員辦公室、行政中心、數學圖書館與交誼廳。此外，大樓兩側還有一些較低矮的建築，同一樣式的學院建築，內部也有辦公室；再走遠些，映入眼簾的是一間突破傳統格局的玻璃建築，裡頭有研究院的餐廳、社會科學院辦公室和歷史研究學院圖書館。館後有一座寧靜小湖，躺臥在樹林前方。

1940 年代，戴森（Freeman Dyson，上圖最右）剛到普林斯頓高等研究院時，常偕三五好友駕著道奇老爺敞篷車，呼嘯穿過那片樹林。如今，林蔭下的訪客僅剩散步、慢跑和獵鹿的人；後來，鹿群太囂張，高等研究院的副主管羅伊（Allen Rowe）發起了一項「抑制鹿群計畫」，每年公佈備忘錄，

解釋高等研究院的做法：「把林中鹿群的數量降到一個合理、平衡的標準」。備忘錄寫道，院方會請一小隊神射手，用弓箭定時「剔除」一些鹿。每次開始傳閱備忘錄，年輕一輩的研究員就在商量要不要揭竿而起，對院方的行徑聊表抗議，結果都不了了之；他們只是幾個星期不靠近樹林就是了。畢竟到林間散步，出來時頭中一箭，實在有失高等研究院的風範！

歐本海默（J. Robert Oppenheimer，105頁右二）擔任院長近20年。他常形容普林斯頓高等研究院是知識份子的旅館、避難所，學者、專家可在此養精蓄銳，沒有時間、進度的壓力，而又有人悉心照料一切瑣事。

通常，他們停留的時間是一年或兩年；事實上，在任何期間內，總有約200人在院內，其中仍以短期訪問的年輕學者居多。普林斯頓高等研究院分為四個學院：數學、自然科學、歷史研究和社會科學。大部份成員的專長屬於數學和物理學，社會科學是規模最小的學院，每年大約只有20位常駐學者。

要加入這個人文薈萃的菁華圈殊非易事，就好比少林和尚要通過十八銅人陣的考驗，嚴格篩選，揚淨糠秕，只有真正出類拔萃的菁英才能入選。如果三生有幸，雀屏中選，將有一筆可觀的薪俸、一間專用辦公室，以及由高等研究院安家專案提供的一棟出自建築師布雷亞（Marcel Breuer）設計的公寓，屬於仿包浩斯式（Bauhaus）的建築精品。自抵達之日起，至離開之日止，高等研究院一星期五天供應早、午餐；並且於星期三及星期五晚上供應晚餐，此舉獲得一致好評。

不過的確有極罕見的幾樁抱怨，但都是針對家具的。一位研究員回憶道：「宿舍裡的普通椅子，坐起來極不舒服！書桌椅倒挺好。這簡直令人懷疑是否院方早有預謀，故意設計讓你每分每秒都得工作。」

再者，要談到床舖問題。床舖倒不是不舒適，只不過清一色都是單人床，連一張雙人床的影子都沒見過……或許唯一的例外是老莊園（Olden Manor）——院長及夫人的宅邸。年輕夫婦看在眼裡，都不禁啞然失笑。一位研究員打趣說道：「他們要不是在跳樓大拍賣中一次購齊所有床，不然就是擺明要我們把全副精力放在工作上！」

撇開休憩的安排不談，高等研究院真是不折不扣書呆子的快樂天堂。不管是客座研究，或為數甚少的族群——約25位終生職教授，一律各搞各的研究計畫，隨心所欲自訂進度，沒有責任，也沒有義務；更不必向誰報告；停留期限截止時，你不用交任何工作心得報告，只要收拾行囊，揮手告別知識的伊甸園，回到原來的現實世界。

或許以下正是現代烏托邦的模式：普林斯頓高等研究院的教授都是終生職，薪水一律相同，年薪約在九萬美元之譜，這個數字贏得了「高薪研究院」的雅號。高等研究院每年營運預算約1000萬美元，由已逾一億美元的資產與投資事業的盈餘支付。投資報酬率每年都有些變動，但最近平均約在每年17%；不過在1984和1985會計年度曾高達26.9%。不像歷代理想主義者幻想的烏托邦，高等研究院從不為金錢所苦。

理型世界的奧秘

普林斯頓高等研究院成立於1930年，由發起人班貝格（Louis Bamberger）和其妹卡洛琳（Caroline Bamberger Fuld）集資興建；並由弗萊克斯納（Abraham Flexner）籌劃組織章程。但高等研究院真正的始祖、知識前輩及精神的源頭，則可遠溯到古希臘哲學家柏拉圖。柏拉圖的創舉之一，是很久很久以前就在雅典市郊創辦了世界第一所高等研習院，稱為學院（Academy）。學者、研究員和諸子百家齊聚於此探究世界奧秘，並嘗試以一

介書生所見來了解萬物的全局。柏拉圖倡導的可說是人類史上第一次系統化的大規模努力，為萬象賦詩，把全部肉眼可見的宇宙，濃縮為一組觀念與原則的小集合。高等研究院正傳承了柏拉圖的衣缽，接下來將告訴你為何柏拉圖是高等研究院的真正始祖。

柏拉圖對知識探究的目標，並不是眼可見、身可感的暫態及變化的本質；他認為「理型」（Form）才是更真實的東西。柏拉圖俯視大自然，仰觀天象，觀察瀑布、植物、動物，歸結後宣稱這些粗略物體根本都不是真的實體。真的實體全都存在於另一空間，亦即他所謂「理型世界」（World of the Forms）之中。感官無法察覺理型世界，因此可能有人會把它視為一個幽暗、撲朔迷離的奇幻世界，然而柏拉圖本人從不如是想。對他而言，理型世界澄明耀眼，宛如正午的太陽。總之，理型世界是一切物體的濫觴，是開端，是萬物起源。

柏拉圖的觀點是：理型和日常生活中普通物體的最大不同，在於普通物體一直在改變，會腐朽；理型則是完美、不變、永恆的。由於其不易變，理型比實物更為真實；又因為真的實體身處另一個空間，一個遺世獨立的國度，所以不能用感官來觀察理型、理解理型，否則豈不太簡單了？道可道非常道，名可名非常名！要一睹理型的風采，得做些較困難的事：你得閉上雙眼，沉潛內斂，用心冥想。反正得不厭其煩，時常閉目、內斂、冥想才行。這也難怪一般人對理型的了解微乎其微，甚至完全無知。

普林斯頓高等研究院裡的科學家當然已不時興柏拉圖那一套理型的論調，不過他們研究的主題確實遠超過感官經驗的範疇，而且也真的捨思想一途，別無他法可以理解。高等研究院的數學家也極少去煩心世上可感知的東西，相反地，他們研究的是抽象而理想化的數學物件，即自然界中不存在的本質。在真實的世界裡，雖然近似圓形的東西俯拾皆是，卻找不到任何標準的圓；然而在數學家眼中，一個抽象的幾何圓，遠比任何近似圓形的物件要「真實」得多。你的車輪每一刻都在改變形狀，並且漸漸失去彈性，但是數學上的圓總是完美無缺，永恆不變。

柏拉圖認為理型是更真實的東西，真的實體全都存在於理型世界之中。對他而言，理型世界澄明耀眼，宛如太陽。

不僅高等研究院的數學家成日與不可捉摸的本質及物體為伍，就連物理學家和天文學家也不例外。太陽底下無鮮事，大地之上的東西也都存在不久。即使是山脈，只需百萬年就可能夷為平地，但是星辰和銀河的生命週期則以數十億年計。大自然的基本粒子（例如質子與電子）的壽命幾乎是無限長，這些事實使得看不見的本質更接近柏拉圖的理型。

說了許多，其實只是換一種方式來闡明，普林斯頓高等研究院的科學家如何不食人間煙火。地質學家、生物學家、心臟外科醫生也想進到裡頭：這些人的雙手沾滿了塵土與血，不可能允許加入這一批純潔、高傲理論家的殿堂。高等研究院的科學家齊聚在自然的屋頂下，絞盡腦汁要探究造物主無遠弗屆、難以企及的極限；他們不製造產品、不做實驗，他們對生命的終極關懷很單純，也很專一，就是要「了解」。

數學家摩斯（Marston Morse）曾這麼說：「雖然我研究的是天體力學，但我對登陸月球可沒什麼興趣！」SA

本文摘錄自《愛因斯坦的辦公室給了誰？》的第一章〈科學夢土〉。

點的意義

每個點代表一個國家所消費的作物種類以及數量，以熱量（千卡）為衡量單位。位於邊緣的國家，飲食內容與2009年的全球平均（中心）差距最大，國家之間相隔越遠，飲食差異越大；所有國家都以彼此差異關係繪製。

阿拉伯聯合大公國

泰國

貝里斯

美國

1961 1985 2009

盧安達

科威特（與2009年平均最接近）

橢圓範圍代表國家間的差異程度

尼日（與2009年平均相距最遠）

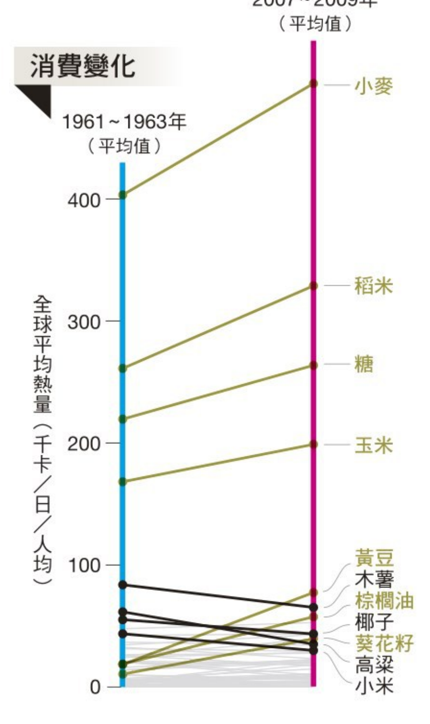
尼泊爾

世界一家的菜單

全球各地人們的飲食內容已不像過去那麼多元化！

撰文／菲謝蒂（Mark Fischetti）

1961年，邊緣國家（藍色）的飲食與大部份國家非常不同，到1985年，全球差異縮小（橙色），至2009年，飲食同質性變得更高（桃紅色）。近半世紀以來，飲食差異縮小了68%。像小麥這類主食變得更佔優勢，大豆、棕櫚和向日葵等油脂作物也大幅成長（右）。國際熱帶農業中心的庫里（Colin Khoury）表示，這種趨同現象犧牲了許多次要作物，人們選擇消費更多利用少數原料製成的加工食品，而且偏向以油炸方式取代蒸煮。科學家表示，雖然某些地區確實需要這樣做以增加熱量，但全球的肥胖、糖尿病和心臟病等問題也隨之持續攀升。他們也擔心，如果某一種作物因疾病或乾旱減產，糧食價格可能因此飆升並衝擊跨洲的供應。（林慧珍 譯）SA



SOURCE: "INCREASING HOMOGENEITY IN GLOBAL FOOD SUPPLIES AND THE IMPLICATIONS FOR FOOD SECURITY," BY COLIN K. KHOURY ET AL., IN *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES USA*, VOL. 111, NO. 11; MARCH 18, 2014

Graphic by Jen Christiansen



第174期　讀者意見調查表

「讀者意見調查表」現在可以上網填寫囉！除了使用本問卷，您也可至《科學人》網站（sa.ylib.com）以快速又省資源的方式給予我們意見喔！

親愛的讀者，讀完本期雜誌，您有些什麼看法呢？

1. 本期所有文章中，請就您讀過的文章，依喜好程度評分（3分為喜歡，2分為普通，1分為不喜歡）

專題文章：

□打打電玩 強健大腦　□打電動的大腦不會變老？　□太陽系的狂亂青春　□科學加速飛毛腿
□恐龍遭殃 哺乳類當家　□橙劑迷霧 籠罩越南　□一推一拉間，水母輕鬆游　□大智若魚

因為：……

專欄與單元：

□科學人觀點　□總編輯的話　□形上集　□網路不打烊　□不可勝數　□健康與科學
□專家看新聞　□資訊世界　□真真假假　□反重力思考　□聊聊科學人　□生物手記
□我的Lab生活　□科學人書摘　□圖表會說話

因為：……

科學人新聞：

□太空望遠鏡遮陽篷　□發掘古籍中的太陽記事　□茲卡病毒源遠流長！　□病態的好奇心
□實驗鼠太乾淨啦！　□城市飛蛾不撲火　□表皮細胞化身彩色條碼　□選擇防曬劑，膚淺很重要
□航向行星之王　□一覽世界科技進展　□未來核能水中尋

因為：……

◀請沿虛線剪下◀

2. 請問您對本期的封面設計，覺得：□非常喜歡　□喜歡　□普通　□不喜歡　□非常不喜歡

因為：……

請寫下封面上最吸引您的標題：……

3. 您閱讀本期《科學人》的原因是（可複選）：

……□內容新奇有趣　□自我充實　□學業需要　□工作需要　□其他

4. 請問您從何處取得／得知《科學人》雜誌（可複選）？

□我是訂戶　□在……書店購買　□在……圖書館看到

□在……的網頁／電子報／FB看到　□親友或師長推薦

□聽……廣播節目得知　□其他……

5. 在近期預告中，最吸引您的話題是？……

您對本期內容的意見與讀後感，或對我們的建言與期許（可e-mail至editors@sa.ylib.com或上科學人粉絲團）：

……

……

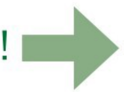
……

……

……

※來函可能刊登於讀者論壇，本刊保有刪改權利。來信若獲刊出，將寄贈當期推薦科普好書一冊，詳見背面。

別忘了填寫背面下方的個人資料喔！



親愛的讀者：

成為科學人，您需要《科學人》；《科學人》要做得更好，需要您的意見！

謝謝您填寫背面的問卷，讓我們可以聽到您的聲音。在填妥問卷後，請您沿右側虛線剪下，三摺後裝訂投郵；或影印傳真至（02）2393-2230即可。

只要完整回答前頁問卷，並寫下讀後感，於2016年8月22日前以郵寄／傳真方式寄回，就有機會獲得天下文化出版科普新書《愛因斯坦的辦公室給了誰？》一冊，敬請把握機會！（上期得獎名單公佈於本期 p.25「讀者論壇」單元）

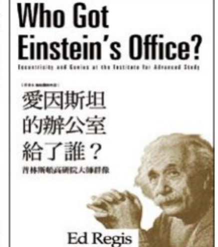
祝您 閱讀愉快

填問卷，有機會獲得：《愛因斯坦的辦公室給了誰？》

《科學人》雜誌 敬上

愛因斯坦的辦公室給了誰？

愛因斯坦用相對論，為人類敲開另一扇認識世界的窗。這位物理大師告別人世時，除了帶給世人無限的惆悵，也留下曾充滿他睿智哲思的辦公室。令人好奇的是，究竟愛因斯坦的辦公室傳給了誰？而繼承愛因斯坦辦公室的幸運兒，能否再掀21世紀的知識革命？



天下文化出版
定價420元

▼ 請沿虛線對摺貼妥，直接投遞，免貼郵票 ▼

廣 告 回 信
台灣北區郵政管理局登記證
北台證第000586號
免 貼 郵 票



100 台北市南昌路二段81號6樓

▶ 請沿虛線剪下 ▶

▲ 請沿虛線對摺貼妥，直接投遞，免貼郵票 ▲

煩請您填寫以下資料，以利統計： 本表僅供調查統計，資料絕不外洩

姓名：＿＿＿＿＿＿ 性別：□男 □女／□一般訂戶 □＿＿＿＿ 學校訂戶 □非訂戶／□未婚 □已婚

通訊地址：□□□ ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

聯絡電話：＿＿＿＿＿＿ e-mail：＿＿＿＿＿＿ □我願意收到《科學人》訂閱訊息與電子報

年齡：□12歲以下 □13~15歲 □16~18歲 □19~25歲 □26~35歲 □36~45歲 □46~55歲 □56歲以上

教育程度：□國中／小 □高中／職 □大專／大學 □碩士 □博士

職業：□製造業 □營造業 □電子資訊業 □工商貿易 □金融業 □軍、公 □教職 □大眾傳播出版
□服務業 □自由業 □科學研究專業 □醫、藥業 □學生 □家管 □已退休 □其他

個人年收入（新台幣）：□30萬及以下 □31~60萬 □61~100萬 □101~200萬 □201~300萬 □301萬以上

家庭年收入（新台幣）：□60萬及以下 □61~100萬 □101~200萬 □201~300萬 □301萬以上

每月花在書籍雜誌上金額：□1,000元以下 □1,000~3,000元 □3,000~5,000元 □5,000~10,000元
□10,000~20,000元 □20,000元以上

■請摺疊後直接郵寄，或將正反兩頁傳真至：(02) 2393-2230

本表依中文筆劃排列。如欲查詢其他科學名詞或人名、地名、機構名稱之原文，
請至 sa.ylib.com 科學人網站的「科學小字典」查詢。

科學名詞

人類免疫不全病毒（human immunodeficiency virus, HIV）
十二烷基硫酸鈉聚丙烯醯胺凝膠（sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel, SDS-PAGE）
大紅斑（Great Red Spot, GRS）
大猿（great ape）
小行星導向任務（Asteroid Redirect Mission）
中國袋獸屬（*Sinodelphys*）
分散式注意力（distributed attention）
太空探索願景（Vision for Space Exploration）
心像旋轉（mental rotation）
木薯（cassava）
毛獸屬（*Maotherium*）
半鹹水（brackish water）
卡布欽猴（capuchin monkey）
尼斯模型（Nice model）
平均運動共振（mean motion resonance）
再程式化（reprogramming）
同步加速器（synchrotron）
多瘤齒獸類（multituberculate）
扣帶皮質（cingulate cortex）
有袋類（marsupial）
朱諾號（Juno）
克卜勒任務（Kepler mission）
沙鼠（gerbil）
固定翼（fixed wing）
始祖獸屬（*Eomaia*）
屈戌關節（hinge joint）
松鴉（jay）
空間視覺（spatial visualization）
後獸類（metatherian）
背外側前額葉皮質（dorsolateral prefrontal cortex）
限制性片段長度多態性（restriction fragment length polymorphism, RFLP）
韋伯太空望遠鏡（James Webb Space Telescope, JWST）
原恆星（protostar）
哺乳形類（mammaliaform）
庫伯帶（Kuiper belt）
海月水母（moon jelly）
真獸類（eutherian）
砧骨（incus）
神經管（neural tube）
高冠齒（hypsodont）
高效抗反轉錄病毒治療法（highly active antiretroviral therapy, HAART）
單孔類（monotreme）
渡鴉（raven）
翔獸屬（*Volaticotherium*）
貂熊（wolverine）
超大陸（supercontinent）
集中式注意力（focused attention）
黃病毒（flavivirus）
稠密核（dense core）
腦電圖（electroencephalogram, EEG）
槌骨（malleus）
廣角紅外巡天望遠鏡（Wide Field Infrared Survey Telescope, WFIRST）
摩爾根獸屬（*Morganucodon*）
歐特雲（Oort cloud）
熱木星（hot Jupiter）
皺紋齒獸屬（*Rugosodon*）
質量效應（Mass Effect）
鴉類（corvid）
黏滯性（viscosity）
鼩鼱（shrew）
獸類（therian）
鐙骨（stapes）

書刊篇名

人格與社會心理學公報（*Personality and Social Psychology Bulletin*）
心理科學（*Psychological Science*）
生物學通訊（*Biology Letters*）
自然・材料（*Nature Materials*）
自然・通訊（*Nature Communications*）
英國精神醫學期刊（*British Journal of Psychiatry, BJP*）
發育細胞學（*Developmental Cell*）

機構與組織

尤紀斯國家靈長類研究中心（Yerkes National Primate Research Center）
卡內基自然史博物館（Carnegie Museum of Natural History）
卡內基科學研究所（Carnegie Institution for Science）
卡內基美倫大學（Carnegie Mellon University）
布里斯托大學（University of Bristol）
弗羅茨瓦夫大學（University of Wroclaw）
艾茉利大學（Emory University）
西門菲沙大學（Simon Fraser University）
法國尼斯蔚藍海岸天文台（Côte d'Azur Observatory in Nice）
芝加哥大學布思商學院（University of Chicago Booth School of Business Chicago Booth）
南弗羅里達大學（University of South Florida）
威斯康辛大學商學院（Wisconsin School of Business）
柏格斯動物園（Burgers' Zoo）
活水中心（Living Links Center）
美國人道協會科學與政策學會（Humane Society Institute for Science and Policy, HSISP）
美國自然史博物館（American Museum of Natural History, AMNH）
美國西南研究所（Southwest Research Institute）
美國國家癌症研究院（National Cancer Institute, NCI）
美國聖母大學（University of Notre Dame）
倫敦地質學會（Geological Society of London）
倫敦瑪麗王后大學（Queen Mary University of London）
埃蘭根－紐倫堡大學（Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nürnberg）
紐約石溪大學（Stony Brook University）
國際熱帶農業中心（International Center for Tropical Agriculture）
新墨西哥自然史與科學博物館（New Mexico Museum of Natural History and Science）
噴射推進實驗室（Jet Propulsion Laboratory, JPL）
諾斯洛普格魯曼公司（Northrop Grumman）
錫達斯－西奈醫學中心（Cedars-Sinai Medical Center）
羅徹斯特大學（University of Rochester）

地名

匹茲堡（Pittsburgh）
西貢（Saigon）
阿納姆（Arnhem）
密克羅尼西亞群島（Micronesia archipelago）
富吉（Phu Cat）
葛摩群島（Comoros）
邊和（Bien Hoa）

■勘誤■

2016年6月號

- 第90頁〈多給金星一點愛〉左欄倒數第四行，「金星每224個地球日公轉一周」，應為「金星每243個地球日自轉一周」。

科學人雜誌 近期精采預告

【天文學】

恆星煙火秀

看似平靜的夜空，不時發生劇烈的恆星爆炸，
絢爛影像透露了元素誕生的線索。

> NASA七年任務：探勘小行星貝努！

> 土壤鹽化威脅農業，基改作物是正解？

> 寄生蜂操控蟑螂心智，踏上死亡之路。

> 伊波拉病毒，遺毒殘害視力？





陳綺貞創作展 移動的房間being, not being

陳綺貞首辦展覽，以「暗房」、「記憶的眼」、「蒙太奇樂園」、「移動的房間」以及「失敗者的飛翔」為主題策劃五大展間。運用無邊際的想像力，帶領觀眾隨著陳綺貞的鏡頭，走過那些孩子氣的時光；循著她視線的移動，探索各種關於她的記憶；透過精采螢幕，重現她身為歌手每個燃燒殆盡的時刻；走進書房，透視她那看不見的思緒與靈感；最後，在恐懼與愛對決的特別時刻，讓陳綺貞聽你說話，給你肩並肩的擁抱……。

歡迎光臨屬於陳綺貞的奇異房間，從空間裡的枝微末節感受她的世界，不僅更貼近，你還會發現自己，早已連結在這裡……。

日期：2016年7月1日至8月31日
時間：10:00～18:00（17:30停止售票及入場）
地點：華山1914文創產業園區 中4A館



威利在哪裡？特展

《威利在哪裡？》（Where's Wally?）是由英國插畫家Martin Handford所創作，並透過書中精緻的繪圖與讀者進行互動。主角威利總是穿著紅白條紋上衣、紅白毛帽，以及一副大圓粗框眼鏡，為了環遊世界、上山下海，還裝備著木製拐杖和登山包。不過，威利總是弄丟他的東西，像是書、露營設備，甚至他的鞋子！

《威利在哪裡？》被譽為「尋寶遊戲圖畫書」的開山之作，自1987年出版後，掀起全世界「尋找威利」的狂熱旋風！本展於韓國、香港展出後詢問度破表，今年暑假將於台北盛大展出，邀請您一起加入「尋找威利」的任務中！

日期：2016年6月23日至9月4日
時間：10:00～18:00（17:30停止售票及入場）
地點：華山1914文創園區 東三館烏梅酒廠



「壓力OUT！爆笑無極限！抓狂一族特展」強勢登台

《抓狂一族》是日本漫畫家浜岡賢次老師1993年於《週刊少年Champion》所連載的漫畫作品，至今持續連載中！主人翁小鐵設定成精力旺盛、喜愛棒球和摔角，卻又腦筋單純的浦安小學孩子王。

睽違16年、超無厘頭搞笑大作《抓狂一族》即將再度掀起爆笑旋風！特展中重現漫畫手稿與經典場景，各大關卡喚醒你的抓狂基因，挑戰你的熱血極限，敬請期待為你打造的抒壓法寶，保證丟掉煩惱、壓力OUT！讓我們隨著故事中的主人翁們一起歡笑、流淚、抓狂，終結煩悶、找回熱血的心吧！

日期：2016年6月25至9月4日
時間：週一至週日 10:00～19:00
地點：華山1914文創園區 中4B館



華山1914文化創意產業園區｜網址 www.huashan1914.com｜
地址 100台北市中正區八德路一段1號 No. 1, Sec. 1, BaDe Rd., Taipei 100, Taiwan｜
園區服務 General Information +886-2358-1914｜洽公聯繫 Programs and Business Affairs +886-2358-1166｜

